Г. С. ГЕНДИН

ВЫСОКО-КАЧЕСТВЕННЫЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



• ЭНЕРГИЯ •

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 663

Г. С. ГЕНДИН

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Издание 2-е,
переработанное и дополненное



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

6Ф2.12
Г34
УДК 621.375.2 : 534.76

Гендин Г. С.

Г 34

Высококачественные любительские усилители низкой частоты, изд. 2-е, переработ. и доп. М., «Энергия», 1968. 112 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 663)

Рассматриваются принципы построения различных усилителей низкой частоты и акустических систем. Содержатся практические сведения по конструированию усилителей и их регулировке, а также описания самодельных конструкций.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей, интересующихся высококачественным воспроизведением звука.

6Ф2.12

3-4-5

355-68

Гендин Геннадий Семенович

Высококачественные любительские усилители низкой частоты

Редактор *Ю. Н. Рысев*
Обложка художника *Н. Т. Ярешко*
Техн. редактор *В. Н. Малькова*
Корректор *Е. В. Кузнецова*

Сдано в набор 5/VIII 1967 г. Подписано к печати 29/XI 1967 г. Т-16027
Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 5,88
Уч.-изд. л. 7,87 Тираж 75000 экз. Цена 32 коп. Зак. № 1253
Издательство «Энергия». Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие электроакустики и радиоэлектроники позволило создать системы высококачественного воспроизведения звука, максимально приблизить звук воспроизводимый к истинному источнику звука. Распространенные монофонические установки довольно точно воспроизводят звуковые частоты, но не дают натурального звучания. Этого недостатка лишены стереофонические системы, позволяющие создать истинное распределение всех источников звука в горизонтальной плоскости.

В настоящее время многие радиолюбители занимаются конструированием высококачественных усилителей звуковой частоты. Цель данной книги — помочь радиолюбителю правильно выбрать схему или акустическую систему, избежать ряда ошибок при монтаже и регулировке усилителя. В конце книги приводится подробное описание нескольких конструкций усилителей различной сложности, выполненных на электронных лампах и транзисторах. Судя по письмам читателей, первое издание данной книги получило хорошую оценку. Учитывая растущий интерес радиолюбителей к высококачественным монофоническим и стереофоническим системам, автор переработал разделы «Стереофонический усилитель», «Бестрансформаторный усилитель на транзисторах» и дал в настоящем, втором издании книги развернутое описание их модернизированных вариантов.

Редакция массовой радиобиблиотеки

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ

Технические требования

К техническим требованиям, предъявляемым к усилителям низкой частоты, относятся выходная мощность при заданных нелинейных искажениях, чувствительность с входных гнезд на частоте 1 000 *гц*, полоса воспроизводимых частот при заданной неравномерности частотной характеристики, уровень собственных шумов, глубина регулировок тембра, пределы ручной регулировки громкости и ее характер (плавная, ступенчатая, тонкомпенсированная и т. п.).

Указывается также назначение усилителя и тип источника сигналов, подводимых к его входу. Для многоканальных и стереофонических усилителей указывают допустимое взаимное проникание сигналов одного канала в другой и допустимую неравномерность параметров каналов.

К специальным усилителям низкой частоты, предназначенным для звуковоспроизведения (например, установки с реверберацией, с объемным звучанием и т. п.), обычно предъявляют особые требования.

При конструировании усилителя важно правильно выбрать основные его параметры, так как при заниженных технических требованиях усилитель окажется неудовлетворительным по качеству, а при завышенных будет неоправданно сложным и дорогим.

Усилители низкой частоты условно можно разделить на четыре группы (их параметры приведены в табл. 1).

Таблица 1

Основные электрические параметры усилителей низкой частоты

Параметры	Нормы по группам			
	1	2	3	4
Выходная мощность, *вт*	>10	5—10	2—4	<2
Полоса вопроизводимых частот, *гц*	40—20 000	60—12 000	80—10 000	100—7 000
Коэффициент нелинейных искажений, %:				
на частотах до 200 *гц*	3,5	5	5	7
на частотах выше 200 *гц*	1	3	3	5
Динамический диапазон, *дб*	60	54	50	40
Диапазон регулирования тембра на высших звуковых частотах, *дб*	±10	±6	±6	—10
Диапазон регулирования тембра на низших звуковых частотах, *дб*	±10	±6	±6	—
Чувствительность, *мв*	200	200	200	250

К первой группе относятся усилители, предназначенные для консольных радиол, «радиокомбайнов», профессиональных и студийных магнитофонов, высококачественных стереофонических установок и т. п. Такие усилители из-за их относительной сложности и высокой стоимости почти не применяются радиолюбителями. Кроме того, высокие качественные показатели усилителя не всегда удается реализовать в домашних условиях из-за акустических данных жилых помещений и отсутствия соответствующих по параметрам источников низкочастотного сигнала (магнитная лента, грампластинки, магнитофон, звукосниматель и др.).

Усилители второй группы применяют для радиоприемников и радиол, радиокомбайнов и магнитофонов. Такие усилители радиолюбители строят довольно часто.

Усилители третьей группы предназначаются для настольных приемников, радиол, магнитол и переносных магнитофонов. Они наиболее распространены и используются в большинстве самодельных конструкций.

Усилители четвертой группы применяют в упрощенных конструкциях радиограммофонов, магнитофонов, телевизоров и реже — в малогабаритных сетевых приемниках.

Усилители каждой группы требуют соответствующую акустическую систему, которая в простых конструкциях может состоять из одного или двух громкоговорителей. В более сложных монофонических усилителях применяют акустическую систему объемного звучания, состоящую из трех и более громкоговорителей, расположенных в различных плоскостях. К стереофоническому усилителю необходимо иметь две идентичные акустические системы.

Громкоговорители для переносных магнитофонов и проигрывателей выбирают с учетом как электроакустических, так и конструктивных данных.

При решении вопроса о том, каким требованиям должен удовлетворять конструируемый усилитель, нужно исходить из параметров источника низкочастотных сигналов и акустических данных помещения, в котором усилитель будет работать. Например, для воспроизведения монофонических граммофонных и магнитофонных записей и радиопередач на длинных, средних и коротких волнах в большинстве случаев достаточно иметь усилитель с параметрами третьей группы. Усилители второй группы бывают необходимы при воспроизведении радиопередач с частотной модуляцией, стереофонических магнитных и граммофонных записей или для монофонических полупрофессиональных магнитофонов.

Акустические свойства помещения зависят в основном от его размеров и формы, а также от степени звукопоглощения и отражения, определяемой, как правило, мебелью и предметами домашнего обихода (ковры, портьеры, шторы). Для помещений размером менее 20 $м^2$ нецелесообразно делать усилители первой и второй групп, поскольку динамический диапазон таких усилителей в небольших помещениях реализовать не удастся, и, следовательно, их номинальная выходная мощность окажется практически ненужной.

Выбор блок-схемы

Выбрав группу проектируемого усилителя, приступают к составлению его блок-схемы. Первым решают вопрос о схеме оконечного каскада. Усилители четвертой группы на электронных лампах всегда

имеют однотактный выходной каскад, и лишь в транзисторных бестрансформаторных усилителях применяются двухтактные оконечные каскады. В усилителях третьей группы однотактный оконечный каскад применяется, как правило, лишь при мощности около 2 *вт*. При большей выходной мощности используют двухтактный каскад. Для усилителей первой и второй групп однотактный оконечный каскад не применяется. Более того, для снижения нелинейных искажений применяют ультралинейную схему включения выходных ламп, а также охватывают усилитель глубокой отрицательной обратной связью.

После выбора схемы оконечного каскада определяют напряжение сигнала, которое необходимо подвести к управляющей сетке его лампы (или ламп) для получения номинальной выходной мощности. Затем полученное значение (в вольтах) делят на чувствительность усилителя (0,2—0,25 *в*) и получают необходимый коэффициент усиления усилителя на средней частоте в относительных единицах (или разах). Относительные единицы удобнее перевести в децибелы, что облегчит дальнейшие расчеты.

Найденный коэффициент усиления позволяет получить требуемую выходную мощность лишь в том случае, когда усилитель не имеет раздельных регуляторов тембра. В противном случае усиление повышают на столько децибел, на сколько предусмотрена регулировка тембра. Так, для усилителей первой группы эта величина составляет +10 *дб*.

Если усилитель охвачен отрицательной обратной связью, то реальный коэффициент усиления должен быть увеличен еще на столько децибел, сколько теряется от действия отрицательной обратной связи. Когда усилитель имеет двухтактный оконечный каскад и фазоинвертор собран по схеме с разделенной нагрузкой, приходится учитывать, что коэффициент усиления такого фазоинвертора меньше единицы. Поэтому общий коэффициент усиления усилителя нужно увеличить еще в 1,2—2 раза.

Таким образом, в зависимости от найденного коэффициента усиления выбирают необходимое количество и тип ламп для каскадов предварительного усиления, учитывая при этом, что реальный коэффициент усиления каскада всегда меньше коэффициента усиления лампы, указываемого в ее паспорте. Выбрав тип и количество ламп, приступают к составлению принципиальной схемы усилителя.

Выбор конструкции и компоновка усилителя

Приступая к компоновке усилителя, необходимо знать габариты всех узлов и деталей, которые будут использованы при его изготовлении. Лучше всего начинать компоновку при наличии основных узлов и деталей, таких как выходной трансформатор, трансформатор питания, дроссель фильтра, электролитические конденсаторы, регуляторы громкости и тембра, выключатели и переключатели и выходные гнезда, разъемы и т. п., а также громкоговорители (если они входят в футляр аппарата).

Исходя из назначения усилителя (переносный, стационарный, для приемника или радиокомбайна), определяют его конструктивное оформление. Например, если конструируют переносный усилитель, который должен быть размещен в небольшом чемодане вместе с громкоговорителем, то компоновку начинают с размещения громкоговорителя и выбора размеров чемодана. Дальнейшую компоновку производят с учетом положения центра тяжести. Поскольку усилитель

переносный, необходимо симметрично расположить детали по весу, что налагает определенные ограничения на дальнейшие конструктивные решения.

Наиболее целесообразным в этом случае будет расположение, указанное на рис. 1. Громкоговоритель размещен в центре чемодана и смещен вверх. При этом в нижней части чемодана остается свободное место для усилителя. Трансформаторы лучше всего сделать на одинаковых сердечниках и разместить симметрично в нижних свободных углах. После этого конструкция самого усилителя окажется, по существу, определена. Поскольку усилитель переносный и должен быть предельно легким, можно отказаться от применения в фильтре выпрямителя дросселя. Это допустимо в том случае, когда оконечный каскад двухтактный, так как он мало критичен к уровню пульсации выпрямленного напряжения, а для питания предварительных каскадов достаточно применить *RC*-фильтр, используя конденсаторы большой емкости (120—150 *мкф*). Регуляторы громкости и тембра лучше всего разместить так, чтобы между ними и точками присоединения к схеме было кратчайшее расстояние. Это позволит обойтись без экранировки соединительных проводов и повысит устойчивость работы усилителя.

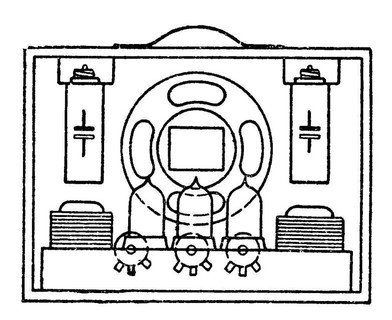


Рис. 1. Вариант конструкции переносного усилителя.

После компоновки берут лист плотной бумаги и вычерчивают на нем в натуральную величину расположение всех узлов и деталей, находящихся на шасси. Затем вырезают все нужные отверстия и обрезают по контуру. Вырезанную заготовку сгибают и в нужных местах закрепляют (например, канцелярскими скрепками). Также изготавливают из бумаги кубики, имеющие габариты наиболее крупных деталей. На этих бумажных конструкциях окончательно отрабатывают компоновку усилителя. Используя макеты, легко внести необходимые коррективы в размещение деталей еще до изготовления шасси.

Когда вся конструкция отработана, на бумаге вычерчивают эскиз-выкройку шасси в натуральную величину и по нему изготовляют само шасси. Такой способ избавляет от ошибок и переделок, что в конечном итоге экономит время и материал.

При конструировании необходимо помнить о запасе прочности. чтобы, с одной стороны, была получена необходимая жесткость всей конструкции, а с другой, конструкция не была неоправданно массивной и тяжелой, особенно когда речь идет о переносной и портативной аппаратуре. При конструировании усилителя для приемника мощные выходные лампы максимально удаляют от деталей, нагрев которых недопустим (например, от элементов резонансных контуров, электролитических конденсаторов и т. п.), а входную лампу усилителя и регулятор громкости предельно удаляют от трансформатора питания и цепей, коммутирующих напряжение электрической сети. Трансформатор питания и выходной трансформатор размещают так, чтобы их магнитные поля не влияли друг на друга, Чтобы максимально

ослабить акустическую связь, принимают меры для «мягкой» подвески блока конденсаторов переменной емкости и громкоговорителя, иначе при большой громкости эта связь приведет к акустическому самовозбуждению (вою) приемника.

Типичные ошибки конструирования

При конструировании усилителей часто допускаются одни и те же ошибки, главная из которых состоит в том, что большинство радиолюбителей стремится найти какую-то «необыкновенную» схему и ожидает получить от нее поразительные результаты. Такой ошибочный взгляд приводит к тому, что радиолюбитель, собрав сложный усилитель, не в состоянии его отрегулировать или найти и устранить причину его плохой работы и, естественно, не получает от него ожидаемых результатов.

Качество работы любого усилителя зависит не от сложности его схемы, а от того, насколько правильно выбраны режимы работы его элементов и в какой степени фактические режимы близки к рекомендованным.

Другая ошибка — несоответствие требований, предъявляемых к усилителю, его потенциальным возможностям. Если, например, усилитель имеет неискаженную выходную мощность 2 *вт*, а громкость воспроизведения окажется недостаточной, то бесполезно пытаться увеличить ее различными схемными ухищрениями. Единственный возможный в этом случае выход — коренная переделка усилителя и в первую очередь его оконечного каскада.

Третья ошибка — несоответствие между усилителем и акустической системой. При выборе акустической системы нужно знать неискаженную выходную мощность и полосу воспроизводимых усилителем частот. Суммарная мощность применяемых громкоговорителей должна быть на 30—50% больше номинальной выходной мощности усилителя. Собственную резонансную частоту акустической системы желательно выбрать ниже нижней границы полосы пропускания усилителя, иначе будут слышны искажения на частотах, соответствующих собственным резонансным частотам громкоговорителей, а радиолюбитель будет пытаться устранить их регулировкой схемы, хотя в этом случае причина искажений не будет зависеть от усилителя.

Еще одна ошибка, связанная с акустической системой, состоит в том, что наблюдаемые при работе дребезжания часто относятся за счет неисправности усилителя. Однако в большинстве случаев дребезжание бывает вызвано неаккуратностью сборки акустической системы.

Частая ошибка — использование радиоламп и транзисторов в недопустимых режимах. Превышение предельных значений напряжений, токов и мощностей рассеяния для электровакуумных и полупроводниковых приборов приводит к их неустойчивой работе и быстрому выходу из строя. Особенно опасно превышение допустимых режимов для транзисторов, которые могут при этом выйти из строя в течение нескольких секунд.

Наконец, нужно отметить важное значение монтажа для хорошей работы усилителя. Усилители, как правило, монтируют, пользуясь лишь принципиальной схемой. При этом радиолюбители сами определяют порядок монтажа и расположение деталей на шасси. Но такие параметры усилителя, как уровень фона и верхняя граница

полосы пропускания, зависят от того, как выполнен монтаж. Следует правильно производить экранировку и выбор длины входных и выходных соединительных шлангов и коммутации входа усилителя в радиокомбайнах.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ КАСКАДОВ

Оконечный однотактный каскад

Однотактная схема оконечного каскада (рис. 2) широко применяется в простейших усилителях с выходной мощностью порядка 1—2 *вт*. Основные достоинства однотактной схемы заключаются в простоте ее регулировки и наличии всего одной лампы. Наряду с этим однотактная схема обладает и серьезными недостатками. Первый из них состоит в том, что лампа обычно работает в режиме *А*, являющемся наименее экономичным по потреблению мощности от источника питания, что приводит к низкому к. п. д.

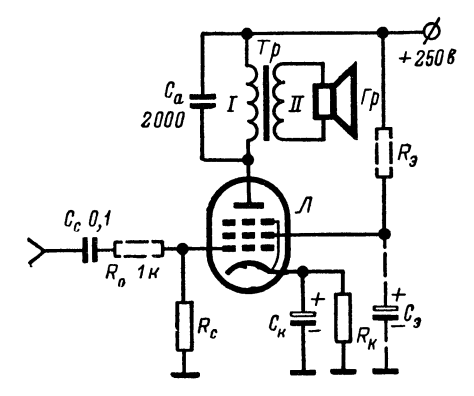


Рис. 2. Однотактный оконечный каскад.

Второй недостаток однотактной схемы — подмагничивание анодным током лампы сердечника выходного трансформатора, вызывающее необходимость увеличения его габаритов и приводящее к появлению дополнительных нелинейных искажений в случае насыщения сердечника.

В радиолюбительской практике встречаются трансформаторные однотактные оконечные каскады, построенные исключительно на радиолампах. Транзисторные однотактные оконечные каскады в высококачественных усилителях низкой частоты почти не применяются.

Схема на лампе 6Ф3П. В однотактном каскаде может быть использована пентодная часть лампы 6Ф3П. Номиналы деталей и напряжения на электродах лампы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Типовые данные однотактного оконечного каскада

Тип радиолампы	P, *вт*	$R_с$, *ком*	$R_э$, *ком*	$C_э$, *мкф*	$R_к$, *ом*	$C_к$, *мкф*	$U_а$, *в*	$U_э$, *в*	$U_к$, *в*
6П14П	2,0	470	—	—	150	100	245	250	6,0
6Ф3П	1,6	330	13	30	300	50	240	150	12,0
6П1П, 6П6С	2,5	470	—	—	300	100	245	250	11,5

Особенность схемы на этой лампе — некоторая склонность усилителя к самовозбуждению на ультразвуковой частоте (30—80 *кгц*) при охватывании каскада глубокой отрицательной обратной связью. Для предотвращения этого явления в цепь управляющей сетки последовательно с разделительным (переходным) конденсатором включают резистор сопротивлением 1—5 *ком* любой мощности.

Вторая особенность — склонность к появлению термотоков в цепи управляющей сетки. Поэтому сопротивление утечки сетки не должно быть больше 330—470 *ком*. Нельзя допускать даже незначительного перекала катода, а также превышать указанные мощности рассеяния на аноде и особенно на экранирующей сетке.

Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм*; зазор в магнитопроводе 0,15 *мм*. Первичная обмотка имеет 2 400 витков провода ПЭЛ 0,15, а вторичная — 70 витков провода ПЭЛ 0,8 и рассчитана на подключение двух параллельно соединенных громкоговорителей 1ГД-9 или 1ГД-18. В случае применения других громкоговорителей число витков вторичной обмотки нужно изменить в зависимости от сопротивления звуковой катушки громкоговорителя. Номинальная выходная мощность получается при подаче на управляющую сетку лампы напряжения сигнала около 10 *в*.

Схема на лучевом тетроде 6П1П допускает фиксированное смещение. В этом случае сопротивление $R_к$ и конденсатор $C_к$ в цепи катода исключают, вывод катода соединяют с шасси, а нижний по схеме конец резистора $R_с$ отсоединяют от шасси и присоединяют к отрицательному полюсу источника напряжения смещения. Если внутреннее сопротивление этого источника велико (несколько килоом) или из этой же точки снимается напряжение для других каскадов усилителя, то нижний (по схеме) конец резистора $R_с$ необходимо «развязать», т. е. заземлить эту точку схемы по переменному току, для чего между ней и шасси включают конденсатор емкостью 10—100 *мкф* на рабочее напряжение 20 *в* (плюсом на шасси). Напряжение смещения должно быть равно — 12,5 *в*.

Лампа 6П1П — аналог лампы 6П6П и поэтому может быть использована вместо последней во всех схемах без всякой переделки и регулировки (не считая изменения цоколевки).

Схема включения этой лампы может быть легко превращена в ультралинейную; для этого нужно сделать отвод от первичной обмотки выходного трансформатора и подключить к нему экранирующую сетку лампы. После такой переделки коэффициент нелинейных искажений при той же выходной мощности снизится примерно до 1%. Однако чувствительность каскада уменьшается из-за сильной отрицательной обратной связи по экранирующей сетке. Поэтому для получения неискаженной выходной мощности 2,5 *вт* на управляющую сетку лампы подают от предварительного каскада напряжение 11 *в*. Кроме того, в ультралинейном режиме значительно изменяется внутреннее сопротивление лампы, поэтому для согласования каскада с нагрузкой целесообразно вторичную обмотку выходного трансформатора намотать с отводами и подобрать место включения громкоговорителя по максимальной выходной мощности и минимальным искажениям.

Для этих ламп выходной трансформатор может быть выполнен на сердечнике из пластин Ш-16, толщина набора 24 *мм*, первичная обмотка имеет 2 600 витков провода ПЭЛ 0,15. Число витков вторичной обмотки, намотанной проводом ПЭЛ 0,8, зависит от сопротив-

ления звуковых катушек громкоговорителей. Лучше всего ее намотать до заполнения каркаса с отводами через каждые 15—20 витков. В сердечнике трансформатора нужно сделать зазор 0,12 *мм*.

Лучевой тетрод 6П14П имеет большую крутизну характеристики, благодаря чему для получения одинаковой с предыдущими лампами выходной мощности он требует меньшее напряжение на управляющей сетке.

Повышенная крутизна характеристики лампы 6П14П достигнута уменьшением расстояния управляющая сетка — катод, поэтому для этой лампы характерны склонность к термотокам при перекале и больший разброс параметров. Лампу 6П14П лучше применять в схеме с автоматическим смещением.

По этой же причине при ультралинейной схеме включения экранирующую сетку лампы нужно подключать не непосредственно к отводу от первичной обмотки выходного трансформатора, а через параллельно включенные резистор сопротивлением 3,3 *ком* (1 *вт*) и конденсатор емкостью 1—5 *мкф* на напряжение 160 *в* (типа МБМ или МБГП). Еще лучше использовать электролитический конденсатор емкостью 10—30 *мкф* на напряжение 150—250 *в*, подключая его плюсовым выводом к отводу первичной обмотки трансформатора и минусовым выводом — к экранирующей сетке лампы.

В указанных режимах оконечный каскад отдает неискаженную выходную мощность 2,0 *вт* при среднем коэффициенте нелинейных искажений 5% для обычного и 2% для ультралинейного варианта.

Выходной трансформатор выполнен на сердечнике из пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм*, зазор в магнитопроводе 0,1—0,12 *мм*. Первичная обмотка имеет 2 400 витков провода ПЭЛ 0,15, а вторичная — 66 витков провода ПЭЛ 0,8 (для громкоговорителя 2ГД-3 или 4ГД-1). Акустическую систему можно составить и из двух громкоговорителей (2ГД-3 и 1ГД-18). При этом громкоговоритель 1ГД-18 подключают к отводу от 47-го витка вторичной обмотки. В случае применения ультралинейной схемы экранирующую сетку лампы подключают к отводу от 1 900-го витка первичной обмотки трансформатора, считая от вывода, подключенного к аноду лампы.

Резистор $R_к$ в цепи автоматического смещения при достаточном предварительном усилении можно не блокировать конденсатором $C_к$. Возникающая при этом отрицательная обратная связь по току снижает коэффициент нелинейных искажений каскада и уменьшает неравномерность его частотной характеристики.

Оконечный двухтактный каскад

Двухтактный оконечный каскад, схема которого показана на рис. 3, имеет ряд преимуществ перед однотактным. Он позволяет получить большую выходную мощность при значительно меньших нелинейных искажениях, более экономичен, выходной трансформатор работает без постоянного подмагничивания сердечника. В высококачественных усилителях мощности применяют исключительно двухтактную схему.

В двухтактном оконечном каскаде на лампах может быть использована пентодная часть лампы 6Ф3П (рис. 3, *а*). Так как эта лампа склонна к появлению термотока в цепи управляющей сетки, не рекомендуется использовать в цепи сетки резистор сопротивлением более 330 *ком* и не следует применять фиксированное смещение.

Выходной трансформатор наматывают на сердечнике из пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм*. Первичная обмотка имеет 1 200+1 200 витков провода ПЭВ или ПЭЛ 0,15. Вторичная обмотка состоит из 80 витков провода ПЭЛ 0,8. Целесообразно эту обмотку выполнить с отводами через каждые 15—20 витков, начиная от половины общего числа витков, и наматывать ее до заполнения каркаса, что позволит при регулировке схемы выбрать оптимальный коэффициент трансформации. Пластины сердечника собирают без зазора в магнитопроводе.

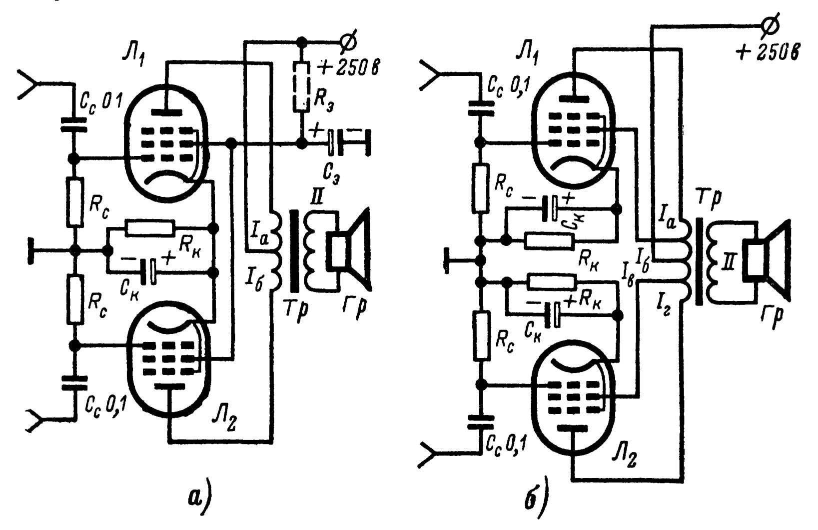


Рис. 3. Двухтактный оконечный каскад.

а — обычная схема; *б* — ультралинейная схема.

Максимальная неискаженная выходная мощность, отдаваемая каскадом на лампах 6Ф3П, при указанных в табл. 3 режимах на электродах ламп и коэффициенте нелинейных искажений около 5% составляет 3 *вт* и может быть получена при подведении к каждой из управляющих сеток ламп переменного напряжения сигнала примерно 10 *в*.

Оконечный каскад, собранный на лампах 6П1П по схеме рис. 3, *а*, может отдать в нагрузку более 10 *вт* выходной мощности при искажениях порядка 5%. Схема одинаково хорошо работает как в режимах *А* или *В*, так и в промежуточных режимах. При работе в режиме *В* можно рекомендовать фиксированное смещение, а в режиме *А* — автоматическое. Источник напряжения для фиксированного смещения должен быть надежно «развязан», для чего на его выходе необходим электролитический конденсатор емкостью от 50 до 200 *мкф*.

Для получения наименьших нелинейных искажений целесообразно применять ультралинейную схему оконечного каскада (рис. 3, *б*). В этом случае коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности 5 *вт* снижается до 0,7—1,5%. В то же время не-

обходимое напряжение раскачки увеличивается приблизительно в 1,5 раза, что необходимо учитывать при расчете коэффициента усиления предварительных каскадов усиления и фазоинвертора.

Выходной трансформатор для обычной схемы имеет сердечник из пластин Ш-16, толщина набора 32 *мм*. Первичная обмотка содержит 1 000+1 000 витков провода ПЭЛ 0,12, вторичная — 40 витков провода ПЭЛ 0,8. При таком коэффициенте трансформации сопротивление нагрузки должно составлять 3,5 *ом*.

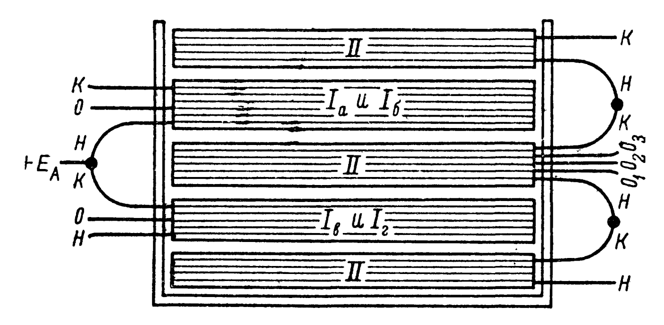


Рис. 4. Расположение секций обмоток на каркасе выходного трансформатора.

Для ультралинейного каскада выходной трансформатор лучше выполнить с чередующимися секциями. В этом случае его наматывают на сердечнике из пластин Ш-28, толщина набора 40 *мм*. Каждая половина первичной обмотки состоит из 1 200 витков провода ПЭЛ 0,2 с отводом от 500-го витка, а вторичная обмотка — из 120 витков провода ПЭЛ 0,8. Вторичная обмотка разбита на три секции, две из которых имеют по 30 витков, а третья — 60 с отводами через каждые 15 витков. Расположение секций на каркасе трансформатора показано на рис. 4.

Отводы от вторичной обмотки трансформатора позволяют использовать усилитель с самыми разнообразными акустическими системами, имеющими различные входные сопротивления, а также получать различные напряжения обратной связи, как отрицательной, так и положительной. Благодаря этому такой выходной трансформатор может быть применен в различных усилителях.

При обычном включении оконечный каскад имеет по напряжению равномерную частотную характеристику в пределах от 60 до 12 000 *гц*. В случае применения ультралинейной схемы и выходного трансформатора с чередующимися обмотками характеристика становится равномерной в пределах от 40 до 30 000 *гц*, а на уровне 0,7 от среднего значения — в пределах от 20 до 50 000 *гц*.

Двухтактный оконечный каскад на лампах 6П14П может отдать в нагрузку около 8 *вт* выходной мощности при нелинейных искажениях не более 5%. В форсированном режиме при анодном напряжении 275 *в* и нелинейных искажениях порядка 8% каскад может отдать в нагрузку мощность до 15—17 *вт*. Благодаря большей крутизне характеристики ламп 6П14П для получения указанной выходной мощности к управляющим сеткам ламп нужно подвести меньшее пере-

менное напряжение раскачки. Это позволит выполнить фазоинверсный каскад на одном триоде по схеме с разделенными нагрузками при обычном (+250 *в*) напряжении источника анодного питания.

Каскад на лампах 6П14П может быть использован и в ультралинейном режиме. Фиксированное смещение для лампы 6П14П менее желательно, поэтому во всех случаях следует применять автоматическое смещение. Наилучшие результаты получаются при работе каскада в режиме AB_1 и полной симметрии плеч, так как при этом максимальная выходная мощность с допустимыми искажениями (2,5—3%) получается при наибольшем к. п. д. В ультралинейном режиме при тщательной балансировке плеч и предварительном отборе ламп коэффициент нелинейных искажений может быть доведен до 0,8—1,3%.

При создании высококачественных усилителей балансировать плечи любого двухтактного каскада нужно двумя способами (при крупносерийном производстве радиоаппаратуры эти способы не применяются).

Сначала из числа имеющихся ламп отбирают две лампы с одинаковыми катодными токами (в статическом режиме), а затем добиваются идентичности плеч в динамическом режиме. Для этого отобранные лампы устанавливают в усилитель, один из резисторов автоматического смещения в любом из плеч делают переменным и, изменяя его сопротивление, одновременно измеряют коэффициент нелинейных искажений при помощи измерителя нелинейных искажений (приборы ИНИ-11, ИНИ-12, С-6-7 и др.).

Движок резистора фиксируют в пложении, при котором искажения получаются минимальными. При этом нужно быть твердо уверенным в том, что подводимые к управляющим сеткам переменные напряжения раскачки отличаются друг от друга не более чем на 0,5% и имеют собственный коэффициент нелинейных искажений не больше 0,2—0,5%.

Выходные трансформаторы для двухтактного оконечного каскада на лампах 6П14П целесообразно применять от приемников «Люкс», «Дружба», «Фестиваль» и др. или, в крайнем случае, изготовить их по данным заводской инструкции. При самостоятельном изготовлении выходного трансформатора вторичную обмотку следует делать с отводами, что позволит подключить к усилителю любую акустическую систему и добиться оптимального согласования усилителя с нагрузкой.

Номиналы элементов схемы и напряжения на электродах ламп двухтактных каскадов приведены в табл. 3.

Двухтактный каскад на транзисторах может быть выполнен как по схеме с выходным трансформатором, так и по бестрансформаторной схеме (рис. 5).

Таблица 3

Типовые данные двухтактного оконечного каскада

Тип радиолампы	*P*, *вт*	$R_с$, *ком*	$R_э$, *ком*	$C_э$, *мкф*	$R_к$, *ом*	$C_к$, *мкф*	$U_а$, *в*	$U_э$, *в*	$U_к$, *в*
6П14П	8	390	—	—	130	100	245	250	10
6Ф3П	3	330	6,8	40,0	150	50	240	150	12
6П1П, 6П6С	6	470	—	—	150	100	240	250	11,5

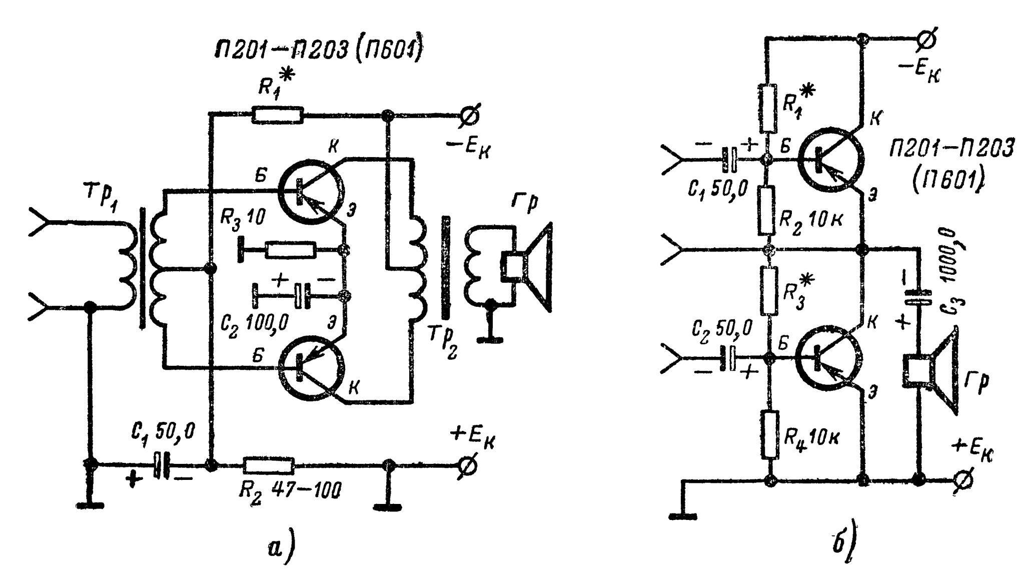


Рис. 5. Двухтактный оконечный каскад на транзисторах.

а — с выходным трансформатором; *б* — без трансформатора.

Схема с трансформатором при работе транзисторов в режиме *B* может отдать в нагрузку номинальную неискаженную мощность при напряжении на коллекторе, равном 0,9 от указанного в паспорте на транзистор. В бестрансформаторной схеме эта же мощность может быть получена лишь при удвоенном напряжении питания. Изменением числа витков вторичной обмотки выходного трансформатора первая схема может быть согласована практически с любым, но только одним громкоговорителем или акустическим агрегатом. Вторая схема не критична к величине сопротивления нагрузки и к ней может быть подключен любой акустической агрегат. Первая схема обеспечивает линейность частотной характеристики в небольших пределах и имеет значительный завал на низких частотах из-за малой индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора. Вторая схема при достаточной емкости разделительных конденсаторов, и особенно в цепи громкоговорителя, позволяет получить линейную частотную характеристику от самых низких частот до верхней границы полосы пропускания, определяемой данными транзисторов. В первой схеме для получения симметричного и неискаженного напряжения раскачки желательно использовать фазоинвертор с переходным трансформатором, что вносит дополнительные частотные искажения. Во второй схеме фазоинвертор легко выполняется на двух маломощных транзисторах разной проводимости, при этом переходные конденсаторы не нужны, в результате чего дополнительные частотные искажения не вносятся.

Анализ обеих схем показывает, что схема с выходным трансформатором целесообразна лишь в тех случаях, когда необходимо получить максимальную выходную мощность при небольшом напряжении на коллекторе и когда допустима некоторая нелинейность частотной херактеристики усилителя. Например, по такой схеме может быть сконструирован усилитель для автомобильного приемника с выходной мощностью 2,5 *вт* и питанием от аккумулятора напряжением 12 *в*. Для сетевых транзисторных усилителей имеет смысл выбирать бестрансформаторную схему с выпрямителем на 24—40 *в*. Также целесообразно использовать вторую схему и для переносных магнитофонов с выходной мощностью не более 1 *вт*.

Выходной трансформатор (рис. 5, *а*) выполнен на сердечнике из пластин Ш-16, толщина набора 24 *мм*. Первичная обмотка имеет 150×2 витков провода ПЭЛ 0,44. Вторичную обмотку наматывают проводом ПЭЛ 0,65 до заполнения каркаса с отводами через каждые 10—15 витков.

Фазоинверсный каскад

Фазоинвертором называют каскад, с выхода которого снимают два равных по величине напряжения, сдвинутые между собой по фазе на 180°. В зависимости от схемы фазоинвертора напряжения на выходе могут быть либо больше, либо меньше напряжения на входе, т. е. фазоинвертор может иметь коэффициент усиления как больше, так и меньше единицы.

Одна из простых схем фазоинвертора приведена на рис. 6. Сигнал, подведенный к управляющей сетке левого (по схеме) триода, усиливается им и с анода этого триода подается на один вход двухтактного оконечного каскада. Одновременно с этим сигнал через конденсатор C_3 и делитель, состоящий из резисторов R_6 и R_7, подводится к управляющей сетке правого триода. Делитель подбирают

2—1253

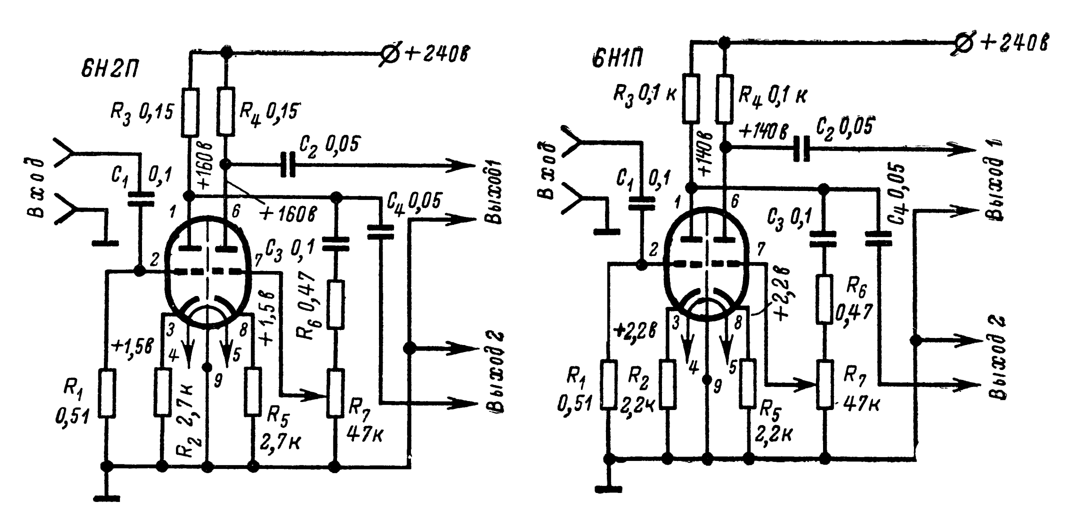


Рис. 6. Фазоинверсные каскады на двойном триоде.

так, чтобы напряжение на управляющей сетке правого триода было равно входному напряжению. Тогда на выходе правого триода получится напряжение, равное напряжению на выходе левого триода, но сдвинутое на 180°. Для того чтобы при регулировке можно было добиться оптимальной балансировки выходных напряжений, резистор R_7 сделан переменным. При этом можно получить напряжения на выходах фазоинвертора, отличающиеся друг от друга на 0,1—0,5% во всем диапазоне усиливаемых частот. Емкость конденсатора C_3 должна быть от 0,1 до 2,0 *мкф*, чтобы на крайних низших частотах он не вызывал разбаланса выходных напряжений и не создавал между ними дополнительного сдвига фазы.

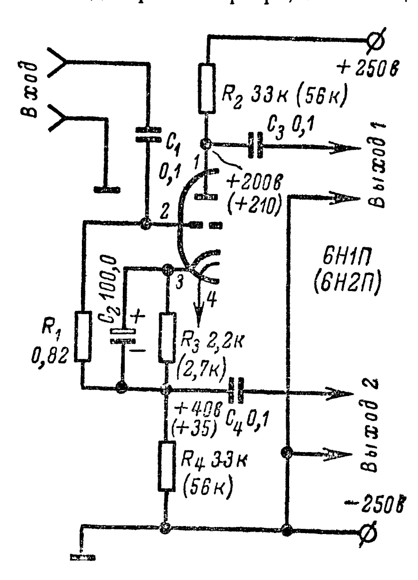


Рис. 7. Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой.

Приведенная схема имеет большой коэффициент усиления (примерно 60 для лампы 6Н2П и 30 для лампы 6Н1П), хорошую частотную характеристику, вносит очень незначительные искажения и хорошо работает при пониженном анодном напряжении (150—200 *в*).

Схема фазоинвертора, содержащая только один триод, приведена на рис. 7. В ней сопротивление нагрузки разделено на две равные части, одна из которых включена в цепь анода, а другая — в цепь катода лампы. Входной сигнал подается на управляющую сетку лампы, а выходные напряжения, равные и противофазные, снимаются с резисторов R_2 и R_4 и через разделительные конденсаторы C_3 и C_4 подводятся к двухтактному каскаду. Эта схема представляет собой видоизмененный катодный повторитель, у которого, кроме нагрузки в цепи катода, имеется нагрузка еще и в цепи анода. Поскольку в цепи анода и катода триода протекает один и тот же ток, идентичность выходных напряжений фазоинвертора определяется исключительно идентичностью резисторов R_2 и R_4. Для получения оптимальных результатов при регулировке каскада целесообразно резистор R_2 разбить на две части, одну из которых (меньшую) сделать регулируемой. В этом случае суммарное сопротивление нижнего (катодного) плеча должно быть на 10—15% больше сопротивления верхнего (анодного) плеча нагрузки.

Наряду с указанными достоинствами эта схема имеет и недостатки. Во-первых, каскад имеет коэффициент усиления меньше единицы. Это приводит к необходимости вводить в схему усилителя дополнительный каскад, что сводит на нет его основное преимущество

(одна лампа вместо двух). Во-вторых, из-за двух сопротивлений нагрузки лампа работает фактически при небольшом анодном напряжении (напряжение между анодом и катодом лампы много ниже напряжения источника питания), что не позволяет получить больших выходных напряжений без нелинейных искажений. В ряде случаев этих напряжений недостаточно для раскачки двухтактного оконечного каскада. Поэтому схема удовлетворительно работает лишь при повышенном напряжении источника анодного питания (280—320 *в*).

Применять эту схему целесообразнее в том случае, если между фазоинвертором и оконечным каскадом имеется дополнительный предоконечный усилитель.

Схемы фазоинверсных каскадов на транзисторах показаны на рис. 8. В радиолюбительских конструкциях очень часто используют схему с переходным трансформатором (рис. 8, *а*), позволяющим лучше согласовать каскады.

Рис. 8. Фазоинверсный каскад на транзисторах.

а — с переходным трансформатором; *б* — на транзисторах разной проводимости.

В схеме рис. 8 резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения в цепи без транзисторов, стабилизируя их рабочую точку. Сопротивления разистора R_1 лучше подобрать при регулировке усилителя по наименьшим нелинейным искажениям. Резистор R_3 в цепи эмиттера, если он не заблокирован конденсатором, создает отрицательную обратную связь по току и также стабилизирует рабочие точки транзисторов. Однако в широкополосных усилителях для более равномерного усиления на низших частотах этот резистор лучше заблокировать конденсатором большой емкости.

Данные переходного трансформатора $Тр_1$ почти полностью зави-

сят от параметров оконечного двухтактного каскада и транзисторов, используемых в нем. Например, переходный трансформатор фазоинвертора (для двухтактного оконечного каскада на транзисторах П201, работающих в режиме В) состоит из сердечника, собранного из пластин Ш-9, толщина набора 16 *мм*. Первичная обмотка содержит 1 300 витков провода ПЭЛ 0,10, вторичная состоит из 2×165 витков провода ПЭЛ 0,15. Сердечник собирают встык с зазором 0,08—0,1 *мм*.

Приведенная на рис. 8, *б* схема наиболее целесообразна в сочетании с двухтактным бестрансформаторным оконечным каскадом (см. рис. 5, *б*). Принцип работы этой схемы заключается в том, что благодаря последовательному включению двух транзисторов с разным типом проводимости (*р-п-р* и *п-р-п*) удается получить на выходе каскада два противофазных и равных напряжения. Так как схема по существу работает с разделенными нагрузками, она эквивалентна эмиттерному повторителю, т. е. имеет коэффициент усиления меньше единицы. В то же время благодаря протеканию одного и того же тока через оба транзистора получается высокая идентичность выходных напряжений. Такой фазоинверсный каскад работает в режиме, близком к режиму *В*, и в нем могут возникать нелинейные искажения. Однако в отличие от других схем на транзисторах для этой схемы характерно появление искажений не при больших, а наоборот, при очень малых уровнях сигнала. Эти специфические искажения называют переходными и устраняют небольшим смещением рабочей точки транзисторов в сторону режима *А*.

Сопротивления резисторов, указанные на схеме, — ориентировочные, в зависимости от типов применяемых транзисторов и данных оконечного каскада они должны быть уточнены при регулировке усилителя.

Каскад предварительного усиления

Задача каскада предварительного усиления состоит в максимальном увеличении подводимого к нему электрического сигнала без внесения в него частотных и нелинейных искажений, а также дополнительных составляющих, отсутствующих в подводимом сигнале (фон, наводки).

Для усилителей низкой частоты радиовещательной аппаратуры частотный диапазон лежит в пределах от 40 до 16 000 *гц*. В этом диапазоне предварительное усиление сигнала без частотных искажений для усилителей на лампах выполнить несложно, для усилителей на транзисторах — несколько труднее.

В предварительных усилителях частотные искажения в области низших частот вызываются недостаточной емкостью переходных конденсаторов и малым входным сопротивлением следующего каскада. Искажения в области высших частот возникают из-за больших емкостей монтажа, больших сопротивлений нагрузки каскада и паразитных отрицательных обратных связей через монтаж и цепи питания. Для предотвращения частотных искажений следует сопротивление нагрузки каскада выбирать минимально возможным, лишь бы каскад давал требуемый коэффициент усиления. Для предотвращения частотных искажений на низших частотах сопротивление резистора утечки сетки последующего каскада не следует брать меньше 220 *ком*, но и не больше 1 *Мом*, за исключением случаев работы каскада с автоматическим смещением за счет сеточных токов (такой способ получения смещения применяют только для микрофонных каскадов).

Емкость переходных конденсаторов нужно брать по возможности большей (0,05—0,1 *мкф*), чтобы не создавать завала частотной характеристики в области низших частот. Можно также рекомендовать каждый каскад предварительного усиления (за исключением тех, в которые входят регуляторы тембра) охватить отрицательной обратной связью по току, что улучшит частотную характеристику каскада и уменьшит вносимые им нелинейные искажения.

Рассмотрим несколько конкретных схем каскадов предварительного усиления. Каскад, показанный на рис. 9, работает на одном из триодов лампы 6Н1П или 6Н2П с автоматическим смещением, резистор которого в цепи катода лампы не заблокирован конденсатором. Благодаря этому усилитель охвачен отрицательной обратной связью по току. В анодной цепи, кроме резистора R_3 (нагрузка), имеется резистор R_4, образующий вместе с конденсатором C_3 развязывающий фильтр, предотвращающий паразитную связь между каскадами и уменьшающий фон переменного тока от источника питания. При напряжении питания 200 *в* и сопротивлении утечки следующего каскада 220 *ком* каскад позволяет получить на выходе максимальное неискаженное напряжение около 9 *в* для лампы 6Н1П и около 12 *в* для лампы 6Н2П. При этом коэффициент усиления каскада с лампой 6Н1П равен 20—25, а с лампой 6Н2П — примерно 50.

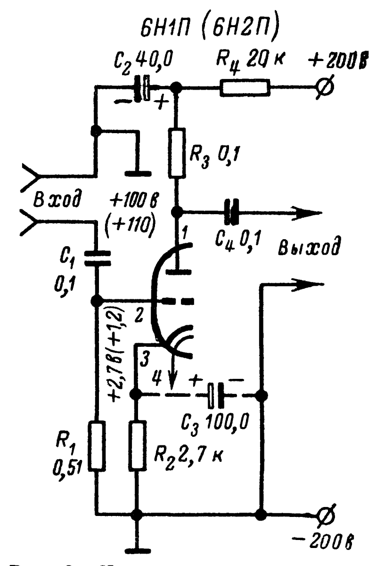


Рис. 9. Каскад предварительного усиления.

При указанных на схеме значениях деталей и режимах частотная характеристика каскада линейна в пределах от 20 до 40 000 *гц*. Коэффициент нелинейных искажений не превышает 0,1%.

При монтаже каскада необходимо «заземлить» центральный лепесток и девятую ножку ламповой панельки, к которой выведен внутренний статический экран лампы. Ни один из проводов накала лампы заземлять непосредственно нельзя.

Схема каскада предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф3П, предназначенного для построения двухкаскадного усилителя низкой частоты, приведена на рис. 10. Резистор R_2 в цепи катода триода служит для получения автоматического смещения и заблокирован электролитическим конденсатором C_2, а резистор R_3 предназначен для того, чтобы весь усилитель можно было охватить отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через делитель, состоящий из резисторов R_6 и R_7, вводится в катодную цепь лампы. Величина обратной связи регулируется подбором сопротивления резистора R_6.

Усилитель на лампе 6Ф3П предназначен для простых конструкций. Поэтому режим каскада выбран таким, чтобы чувствительность входа получалась примерно 150—200 *мв* при регулировке тембра только по высоким частотам (этот регулятор входит в схему оконечного каскада).

Аналогичный предварительный усилитель может быть построен на триодной части лампы 6Ф1П (рис. 11).

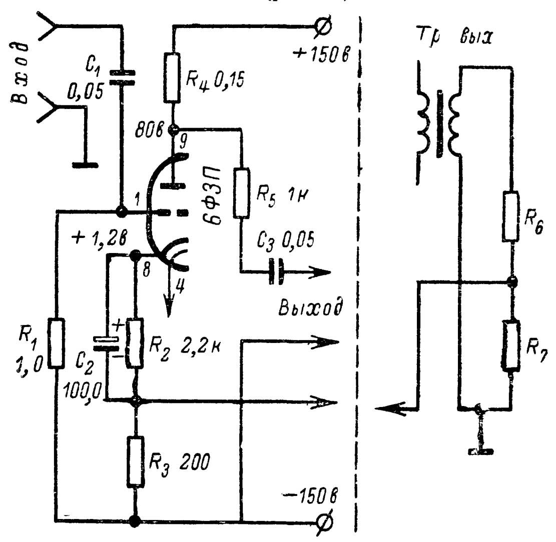


Рис. 10. Каскад предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф3П.

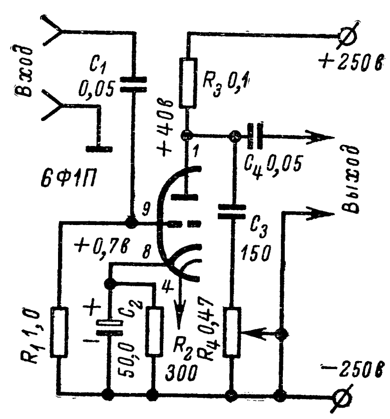


Рис. 11. Каскад предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф1П.

Эту лампу целесообразно применять в тех случаях, когда усилитель низкой частоты служит не самостоятельным устройством, а входит составной частью, например, в телевизор. В этом случае для уменьшения общего числа ламп пентодную часть лампы 6Ф1П используют в высокочастотной части схемы, а триодную — в качестве предварительного усилителя низкой частоты перед однотактным оконечным каскадом (чаще всего на лампе 6П14П).

В этой схеме резистор R_2 автоматического смещения заблокирован электролитическим конденсатором C_2 для предотвращения отрицательной обратной связи по току. Резистор

R_4 и конденсатор C_2 образуют цепь регулирования тембра по высшим звуковым частотам. Частотная характеристика усилителя линейна в диапазоне от 60 до 10 000 *гц*, что достаточно для усилителей, используемых обычно в малогабаритных приемниках и телевизорах.

При конструировании усилителей низкой частоты с выходной мощностью до 2,5 *вт* в качестве предварительного усилителя можно использовать и пентодную часть лампы 6Ф1П (рис. 12). Благодаря большому коэффициенту усиления этой части лампы в каскад можно

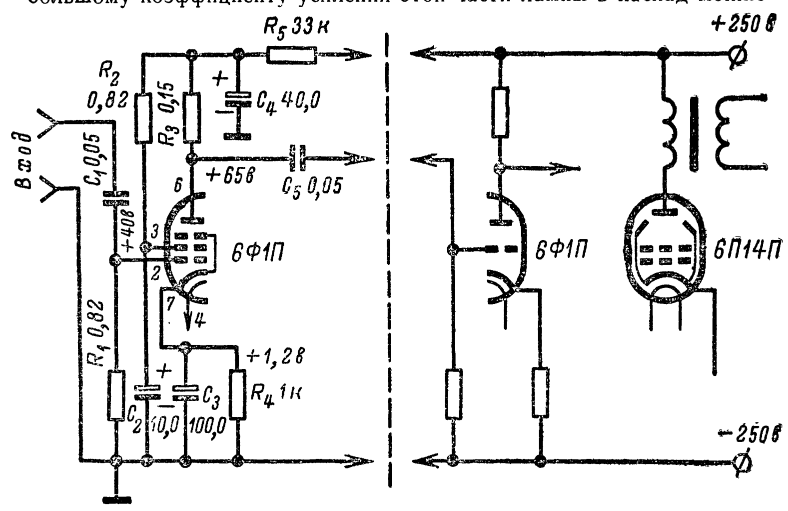


Рис. 12. Каскад предварительного усиления на пентодной части лампы 6Ф1П.

ввести регулирование тембра или тонкомпенсированное регулирование громкости при сохранении необходимой чувствительности усилителя.

В схеме предварительного усилителя (рис. 12) может быть использован и пентод 6Ж1П. При конструировании усилителя желательно предусмотреть для этой лампы отдельную обмотку накала, что позволит значительно снизить уровень фона от цепи накала. Устойчивый коэффициент усиления каскада может быть более 100.

В транзисторных предварительных усилителях хорошо работают любые транзисторы малой мощности (П13, П14, П15, П16 и др.).

Выбор того или иного транзистора связан с собственными шумами каскада и коэффициентом его усиления. Для входного (первого) каскада минимальный уровень собственных шумов является основным показателем. Принято считать, что из низкочастотных транзисторов наименьшим уровнем собственных шумов обладают транзисторы П13Б. Однако в большинстве случаев уровень собственных шумов каскада скорее зависит от данных транзистора и схемы его включения, а не от типа транзистора. В любом случае те транзисторы, которые предназначаются для усилителей низкой частоты и особенно для первого каскада, желательно отобрать по минимальному уровню шумов.

Измерение уровня собственных шумов транзистора в радиолюбительских условиях затруднительно. Поэтому можно рекомендовать отбирать их по величине обратного тока коллектора. Чем меньше обратный ток коллектора выбранного транзистора, тем, как правило, будет и меньше уровень его собственных шумов.

Схема реостатного каскада предварительного усиления низкой частоты на транзисторе приведена на рис. 13, *а*. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения в цепи базы транзистора. Такой де-

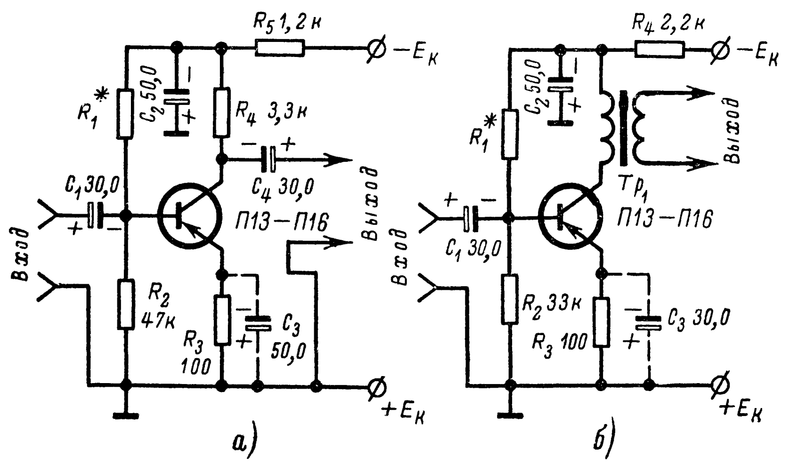


Рис. 13. Каскад предварительного усиления на транзисторе.
а — на резисторах; *б* — с согласующим трансформатором.

литель в сочетании с резистором в цепи эмиттера, не заблокированным конденсатором, обеспечивает удовлетворительную температурную стабилизацию каскада. Если каскад используется не как входной, то можно для уменьшения коэффициента нелинейных искажений верхний по схеме вывод резистора R_1 соединить не с минусом источника питания, а с выводом коллектора транзистора. В этом случае каскад будет иметь несколько меньшее входное сопротивление. Режим работы каскада подбирается изменением сопротивления резистора R_1 по наибольшему неискаженному напряжению на выходе. Переходные конденсаторы C_1 и C_4 должны иметь достаточно большую емкость (10—30 *мкф*). Однако необходимо отобрать конденсаторы с минимальным током утечки и рабочим напряжением не ниже напряжения источника питания. При монтаже следует обращать внимание на их полярность. Чтобы не ошибиться в полярности включения переходных конденсаторов, можно рекомендовать следующий метод. Вначале на месте переходных конденсаторов устанавливают бумажные (например, типа МБМ) емкостью 0,1—0,5 *мкф* и регулируют усилитель на частоте 1 000 *гц*. После того как все резисторы, определяющие режимы отдельных каскадов, будут окончательно подобраны и впаяны, при помощи лампового вольтметра определяют полярность напряжения на переходных конденсаторах и на их место впаивают электролитические конденсаторы большой емкости.

Отметим, что коэффициент усиления реостатного каскада по напряжению зависит от коэффициента усиления транзистора по току и лежит в пределах 5—30.

Схема трансформаторного каскада предварительного усиления приведена на рис. 13, *б*. Основное отличие этой схемы от предыдущей состоит в том, что сопротивлением нагрузки каскада является пересчитанное в цепь коллектора входное сопротивление следующего каскада. Такие схемы часто применяют в транзисторных приемниках и магнитофонах для получения большого коэффициента усиления. Обычно с помощью трансформаторной схемы удается получить от каскада коэффициент передачи в пределах 100—200. Однако это достигается при значительных частотных искажениях, вносимых переходным трансформатором. Частотная характеристика трансформаторного каскада лежит обычно в пределах до 5 000 *гц*.

Данные переходного трансформатора зависят от схемы, назначения и конструкции усилителя и от параметров последующего каскада. Во всех случаях такой трансформатор должен быть понижающим с коэффициентом трансформации от 1 : 5 до 1 : 20.

Микрофонный каскад

В любительских магнитофонах первый каскад усилителя всегда рассчитан не только на подключение магнитной головки, но и на подключение микрофона. Поэтому его часто называют микрофонным. К такому каскаду предъявляют повышенные требования по уровню собственных шумов и отсутствию микрофонного эффекта. Эти требования и определяют специфику и особенности микрофонного каскада.

Во всех магнитофонных усилителях на радиолампах недопустимы наводки через цепь накала. Для этого нить накала лампы микрофонного каскада питают либо постоянным током от специального выпрямителя с хорошим фильтром, либо от отдельной обмотки трансформатора питания. Для предотвращения микрофонного эффекта лампу этого каскада, особенно если используют пентод, необходимо амортизировать, т. е. установить не непосредственно на шасси, а на специальной пружинной подвеске.

В последнее время для микрофонного каскада применяется специальная малошумящая и не склонная к микрофонному эффекту лампа — пентод 6Ж32П.

Схема микрофонного каскада на одном триоде лампы 6Н2П (рис. 14, *а*) весьма распространена и широко использовалась в отечественных и зарубежных фабричных и любительских магнитофонах до появления специального пентода 6Ж32П (западноевропейский аналог EF-86). Автоматическое смещение на управляющую сетку лампы поступает за счет сеточного тока, что вполне допустимо для каскада, работающего при малых уровнях сигнала. Автоматическое смещение в этом случае нежелательно из-за большого уровня фона по цепи накала. Для получения минимального уровня фона центральный лепесток ламповой панельки и вывод внутреннего экрана лампы (9-я ножка панельки) должны быть заземлены коротким проводником в одной точке шасси вместе с заземляемым выводом резистора R_1. В ряде случаев точку заземления приходится подбирать опытным путем по минимуму фона. Ламповая панелька обязательно должна иметь экран (панель типа ПЛП-9-Э или ПЛК-9-Э). Между фланцем панельки и шасси должен быть хороший электрический контакт.

Схема микрофонного каскада на пентоде 6Ж1П приведена на рис. 14, *б*. В отличие от предыдущей схемы она имеет больший коэффициент усиления и более чувствительна к прониканию фона из цепи накала. Поэтому нить накала этой лампы лучше питать постоянным током. Так как ток накала лампы 6Ж1П невелик (0,175 *а*), не представляет большого труда осуществить достаточную фильтрацию выпрямленного напряжения. Для этой цели обычно применяют низковольтные электролитические конденсаторы емкостью 500—1 000 *мкф* на рабочее напряжение 12 *в*. Если в схему фильтра включен дроссель или резистор, то для компенсации падения напряжения на нем нужно подавать с обмотки трансформатора питания соответственно большее переменное напряжение. В качестве выпрямительного элемента обычно применяют любой германиевый диод серии Д7 или селеновый столбик АВС.

Лампа 6Ж1П склонна к микрофонному эффекту, поэтому крепить ее панельку непосредственно на шасси нельзя. Несложное амортизирующее устройство легко сделать из листовой резины толщиной 1,5—2 *мм*. Кольцо, вырезанное из этой резины, должно иметь внутренний диаметр, равный диаметру нижней выступающей части ламповой панельки (18 *мм* для панелек типа ПЛП-7-Э), а наружный — от 40 до 50 *мм*. В шасси усилителя на месте, где должна находиться лампа микрофонного каскада, вырезают отверстие диаметром 30—35 *мм*. Ламповую панель с помощью ее фланца закрепляют на резиновом кольце, а само кольцо вместе с панелью концентрично накладывают на отверстие в шасси и укрепляют винтами. При таком креплении ламповая панель оказывается незаземленной. Поэтому необходимо ее заземлить при помощи станиолевой ленты или тонкой латунной или свинцовой фольги Ленту шириной 4—6 *мм* собирают гофром, один конец ее поджимают под винт, крепящий фланец ламповой панели, а другой надежно соединяют с шасси. На лампу обязательно должен быть надет статический экран. Желательно выбрать лампу для микрофонного каскада из нескольких экземпляров по минимальному уровню фона.

Схема каскада на лампе 6Ж32П показана на рис. 14, *в*. Назначение всех деталей такое же, что и на предыдущей схеме. Если выходная мощность усилителя при контроле записи и механические вибрации магнитофона велики, то целесообразно панельку лампы амортизировать способом, описанным выше. Если лампа используется и при воспроизведении, амортизировать ее необходимо в любых случаях. Лучше отобрать экземпляр лампы с минимальным уровнем фона и собственных шумов.

В любительских магнитофонах целесообразно сделать раздельные усилители записи и воспроизведения, особенно для магнитофонов на транзисторах. Микрофонный каскад усилителя записи может быть вынесен в корпус микрофона, что значительно снизит уровень фона и расширит полосу пропускания усилителя в области высших частот благодаря исключению емкости кабеля между микрофоном и входным каскадом усилителя.

Схема такого каскада приведена на рис. 14, *г*. Транзистор для снижения уровня собственных шумов питается пониженным напряжением (3—4,5 *в*). Сопротивление резистора в цепи базы зависит от типа микрофона, наличия или отсутствия микрофонного трансформатора, типа транзистора и подбирается при регулировке каскада по отсутствию нелинейных искажений. Для микрофонного каскада необходимо подобрать транзистор с минимальным уровнем собственных шумов.

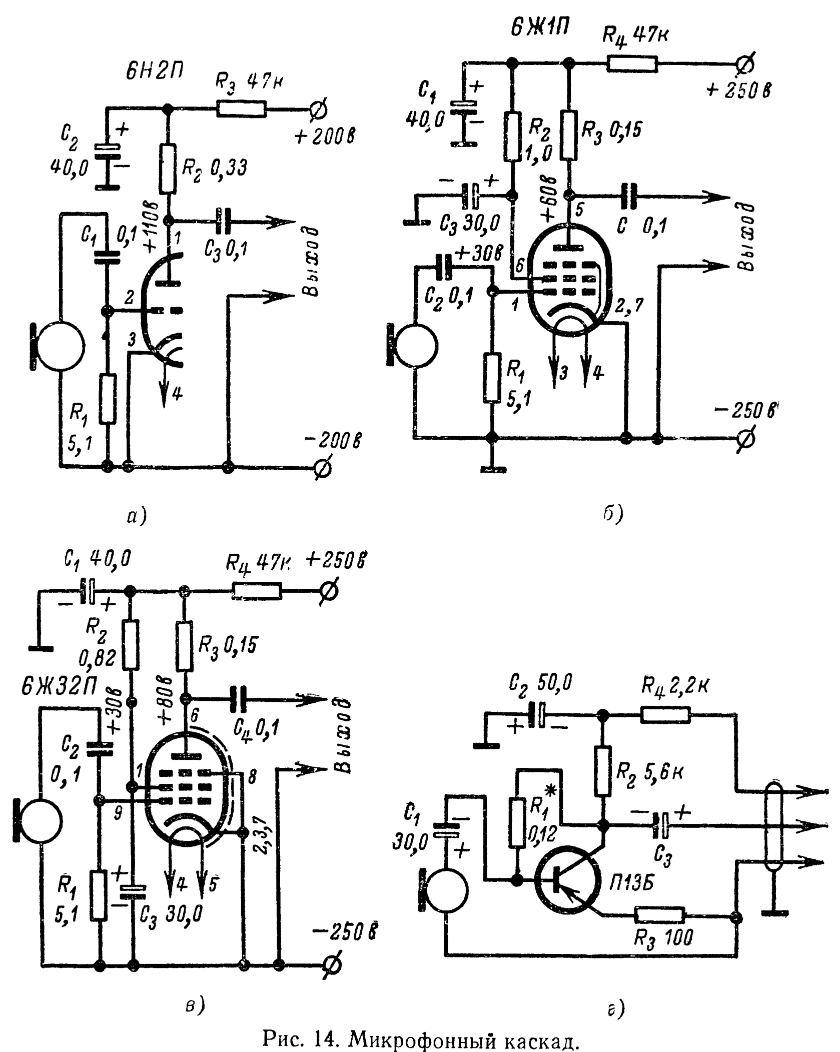


Рис. 14. Микрофонный каскад.

а — на триоде 6Н2П; *б* — на пентоде 6Ж1П; *в* — на пентоде 6Ж32П; *г* — на транзисторе.

Собственные шумы усилителя

Каждый усилительный каскад вносит в усиливаемый сигнал искажения. Часть этих искажений зависит от нелинейности характеристики лампы или транзистора и самой схемы. Однако, кроме этих иска-

жений, в спектре усиливаемого сигнала могут появиться составляющие паразитного напряжения, причиной появления которых могут быть наводки со стороны цепи накала, недостаточная фильтрация и «развязка» цепи анодного (коллекторного) питания, микрофонный эффект и магнитные наводки на баллон лампы и монтаж усилителя. Рассмотрим влияние каждой из этих причин и способы борьбы с ними.

Влияние цепи накала рассмотрим на схеме усилительного каскада (рис. 15, *а*) с резистором автоматического смещения в цепи катода

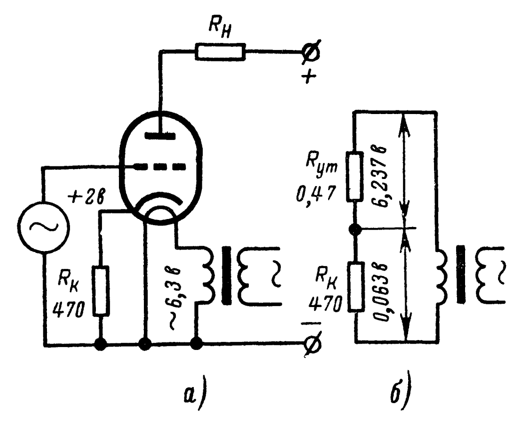


Рис. 15. Возникновение фона переменного тока во входном каскаде.

а — схема каскада; *б* — эквивалентная схема.

и питанием нити накала переменным током. У любой лампы между нитью накала и катодом всегда имеется сопротивление, которое колеблется от сотен килоом до нескольких мегом. Пусть это сопротивление равно 470 *ком* (на рис. 15, *б* показана эквивалентная схема цепи накал — катод, где сопротивление обозначено через $R_{ут}$). Благодаря имеющемуся положительному потенциалу на катоде лампы по отношению к шасси (напряжение автоматического смещения) участок накал — катод лампы можно рассматривать как проводящий диод с внутренним сопротивлением, равным $R_{ут}$. Благодаря этому в цепи обмотка накала — промежуток накал — катод — сопротивление автоматического смещения — обмотка накала потечет ток и напряжение накала (6,3 *в*) окажется поделенным на сопротивлениях $R_{ут}$ и $R_к$ в отношении 100 : 1. Иначе говоря, к сопротивлению автоматического смещения окажется приложенным паразитное переменное напряжение 6,3 : 100=0,063 *в*. Это напряжение, введенное последовательно в анодную цепь триода, усилится всеми последующими каскадами и создаст на выходе усилителя заметное напряжение фона. Если учесть, что напряжение полезного сигнала на входе каскада не превышает 0,2 *в*, то окажется, что полезный сигнал всего лишь втрое превышает напряжение фона, а при меньшем сопротивлении катод — накал напряжение фона может даже оказаться больше полезного сигнала. Для микрофонного каскада, где уровень полезного сигнала

составляет от 5 до 10 *мв*, фон из цепи накала будет превышать полезный сигнал даже в том идеальном случае, когда сопротивление накал — катод составляет десятки мегом.

Чтобы устранить проникание фона из цепи накала, достаточно нарушить проводимость паразитного диода накал — катод. Это можно сделать, подав на нить накала положительный потенциал, превышающий напряжение автоматического смещения. Одна из таких схем приведена на рис. 16. Цепь накала лампы не соединена с шасси. Положительный потенциал на нить накала подается от делителя напряжения через специальный балансировочный потенциометр $R_б$, с помощью которого при регулировке усилителя добиваются минимального уровня фона. Для микрофонного каскада эта мера иногда оказывается недостаточной. Тогда нить накала лампы нужно питать постоянным током.

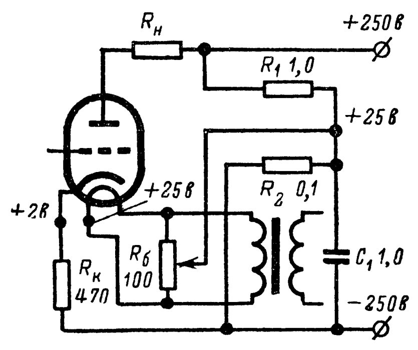


Рис. 16. Схема каскада с компенсацией фона.

В усилителе, оконечный каскад которого работает с автоматическим смещением и сопротивление смещения заблокировано конденсатором большой емкости, можно использовать положительный потенциал на катоде оконечной лампы вместо устройства специального делителя напряжения. В этом случае обмотку накала первой лампы соединяют через балансировочное сопротивление с катодом оконечной лампы.

Цепь анодного питания также может служить источником возникновения фона (при недостаточной фильтрации напряжения в выпрямителе) и положительной обратной связи между каскадами, приводящей к самовозбуждению усилителя на звуковой или ультразвуковой частоте. Для борьбы с этими явлениями имеется только один способ — надежная «развязка» анодной цепи каждого каскада. В многокаскадных усилителях нужно каждый каскад питать через свой *RC*-фильтр, при этом по мере приближения от выхода схемы к ее входу каждый каскад получает дополнительную развязку — этим исключается взаимосвязь каскадов.

В качестве конденсаторов развязывающих фильтров применяют электролитические конденсаторы большой емкости (40—150 *мкф*) на напряжение 250—350 *в*. Сопротивления резисторов фильтров выбирают от 5 до 50 *ком*.

Микрофонный эффект часто появляется у ламп с большим коэффициентом усиления (обычно у пентодов), работающих в первых каскадах усилителей. Это явление вызывается механической вибрацией электродов лампы, особенно ее управляющей сетки, и приводит к появлению переменной составляющей анодного тока лампы с частотой механической вибрации, соизмеримой с полезной составляющей анодного тока. Проявляется микрофонный эффект в том, что передача речи или музыки сопровождается характерным «звоном». В отдельных случаях, при наличии акустической или механической

связи первого каскада и громкоговорителя, микрофонный эффект приводит к появлению устойчивой генерации усилителя на звуковой частоте.

Для борьбы с микрофонным эффектом лампу первого каскада закрепляют на шасси с помощью мягкой пружинной подвески, демпфирующей ее колебания, или надевают на баллон лампы массивный свинцовый колпак, увеличивающий инерцию лампы и делающий ее нечувствительной к колебаниям высоких звуковых частот. Кроме того, уменьшают механические вибрации шасси усилителя, для чего громкоговоритель или электродвигатель магнитофона прикрепляют к шасси через резиновые или фетровые прокладки. Целесообразно также отобрать для первого каскада лампу с минимальным микрофонным эффектом, поскольку отдельные экземпляры более или менее склонны к нему.

Магнитные и электрические наводки создаются соответствующими полями, всегда имеющимися в любой радиоаппаратуре. Влияние их можно свести к минимуму рациональным монтажом и специальными мерами.

Магнитные наводки от трансформатора питания можно свести к минимуму в месте их появления. Для этого трансформатор питания нужно поместить в стальной кожух или отделить его стальной пластиной от усилителя низкой частоты. Следует учесть, что наименьшие поля рассеяния имеют трансформаторы на ленточных сердечниках (круглых или овальных). Поэтому, если трансформатор самодельный, его желательно сделать именно на таких сердечниках.

Для уменьшения магнитной связи между трансформатором питания и выходным трансформатором по возможности отдаляют их друг от друга и располагают так, чтобы их магнитопроводы были взаимно перпендикулярны. По этой же причине лампу первого каскада нельзя располагать вблизи трансформатора питания.

Все изложенное относится и к электродвигателю магнитофона, если он питается от сети переменного тока. Его необходимо также экранировать от монтажа и ламп усилителя стальным щитком.

Статические наводки появляются от электростатического поля звуковой частоты, источником которого являются лампа оконечного каскада и выходной трансформатор. Это поле может создать паразитную обратную связь, приводящую к самовозбуждению усилителя как на звуковой, так и на ультразвуковой частотах. Для предотвращения этого провод, идущий от анода лампы оконечного каскада к выходному трансформатору, делают предельно коротким и помещают в экранирующую оплетку. Выходной трансформатор помещают в алюминиевый или железный экран либо располагают на боковой стенке шасси усилителя.

Взаимные наводки в монтаже возникают между проводами различных цепей. Наиболее опасны паразитные связи сеточных и анодных цепей различных каскадов, приводящих либо к потере усиления и частотным искажениям, либо к самовозбуждению усилителя. Поэтому при монтаже максимально отдаляют провода и детали анодных цепей от сеточных. Провода сеточных цепей, идущие к регуляторам громкости и тембра и к переключателям, помещают в экранирующую оплетку. Провода накала и сети свивают попарно и также помещают в экранирующую оплетку либо прокладывают эти провода сверху шасси.

Входные цепи и схемы регулирования громкости

К входным цепям усилителя условно относят ту часть схемы, которая находится между источником низкочастотного сигнала (звукосниматель, детектор приемника, воспроизводящая головка магнитофона и т. п.) и управляющей сеткой лампы первого каскада. От качества выполнения монтажа входных цепей зависит общий уровень фона усилителя. Поэтому необходимо правильно выполнять монтаж этих цепей.

При монтаже сеточной цепи первой лампы нельзя использовать шасси усилителя в качестве «минусового» провода. Это значит, что нулевой вывод входного гнезда нельзя «заземлять» непосредственно у места его расположения. Оба входных гнезда усилителя должны быть соединены с первой лампой двумя изолированными проводами, помещенными в экранирующую оплетку, которая также должна быть изолирована от шасси. «Заземлять» входной нулевой провод и оплетку нужно около панельки лампы первого каскада, в той точке, где «заземляются» выводы резисторов автоматического смещения и утечки управляющей сетки первой лампы.

При необходимости коммутировать входную цепь усилителя (например, в радиокомбайне) нужно весь переключатель заключить в экран и надежно его «заземлить». Все токонесущие провода от каждого источника низкочастотного сигнала и провод от управляющей сетки лампы усилителя (или регулятора громкости) нужно выполнить экранированными, при этом экранирующие оплетки всех цепей должны быть изолированы от шасси хлорвиниловой трубкой или изоляционной лентой. Оплетки этих проводов не должны касаться и «заземленного» экрана переключателя. Их соединяют между собой внутри экрана переключателя и отдельным изолированным проводом соединяют с точкой «заземления» резистора автоматического смещения и резистора утечки управляющей сетки лампы первого каскада усилителя.

Во входные цепи в большинстве случаев входит и регулятор громкости. Существуют разные схемы регуляторов, начиная от простейших, содержащих всего одну деталь — потенциометр, до сложных, состоящих из 10—15 деталей. Рассмотрим несколько схем регулирования громкости.

Обычная (некомпенсированная) схема регулятора громкости приведена на рис. 17, *а*. Напряжение от источника низкочастотных сигналов подводится через конденсатор C_1 к регулятору громкости $R_{гр}$. Сигнал снимается с движка регулятора и через второй конденсатор C_2 подается на управляющую сетку входной лампы усилителя. Конденсатор C_1 нужен для того, чтобы вместе с низкочастотным сигналом на регулятор громкости не попало постоянное напряжение. имеющееся на выходе детектора приемника, телевизора и др. Второй конденсатор нужен для предотвращения шорохов и тресков, которые могут появиться при вращении регулятора, если управляющая сетка лампы соединена непосредственно с его движком. Однако при этом необходимо в цепь сетки ввести дополнительный резистор, показанный на рисунке штриховой линией. Его сопротивление может быть выбрано в пределах от 0,5 до 1,5 *Мом*.

Эта схема при всей ее простоте позволяет хорошо регулировать громкость, но имеет один существенный недостаток, связанный с особенностью восприятия звука. Слуховой аппарат человека имеет частотную характеристику, зависящую от интенсивности звуков. Если

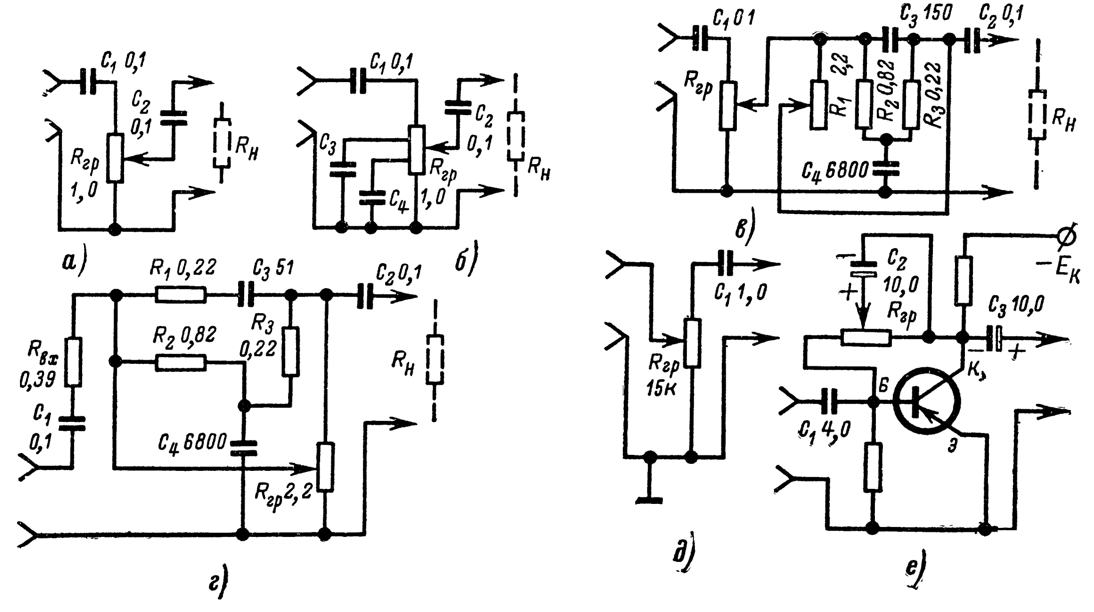


Рис. 17. Схемы регуляторов громкости.

а — обычная (некомпенсированная); *б* — с простейшей тонкомпенсацией; *в* — на сдвоенном потенциометре; *г* — для высококачественных усилителей; *д* и *е* — для усилителей на транзисторах.

при некоторой средней мощности воспроизвести гармонические звуковые колебания всех частот (от 30 до 15 000 *гц*) так, чтобы человек воспринимал их с некоторой одинаковой громкостью, а затем вновь воспроизвести эти же звуки с уменьшенной в 3—4 раза мощностью, то, хотя каждый из звуков будет иметь одинаковую интенсивность, слушателю будет казаться, что громкость звуков на частотах 800—2 000 *гц* почти не изменилась, а на частотах 30—60 и 8 000—12 000 *гц* громкость уменьшилась в десятки раз. Если же уменьшить мощность всех звуков еще в одинаковое число раз, то низшие и высшие частоты вообще перестанут быть слышны, а средние частоты звукового диапазона будут слышны достаточно громко. Иными словами, при уменьшении громкости воспроизводимых усилителем звуков слушатель будет замечать частотные искажения в передаче, хотя весь усилительный и акустический тракт искажения в передачу не вносит.

Для борьбы с этим явлением в схему регулятора громкости вводят специальные дополнительные элементы, которые изменяют частотную характеристику усилителя так, чтобы уменьшение громкости воспринималось слушателем одинаково на всех частотах. Для этого одновременно с уменьшением громкости нужно увеличивать относительное усиление на крайних частотах звукового диапазона по отношению к средним.

Приведенная ранее схема регулятора не имеет устройства для компенсации частотных искажений, поэтому она может применяться только в простых маломощных усилителях.

Схема с тонкомпенсацией, приведенная на рис. 17, *б*, работает так. Когда движок регулятора громкости $R_{гр}$ находится в верхнем (по схеме) положении, весь сигнал со входа подводится к управляющей сетке лампы полностью (сопротивлением конденсаторов C_1 и C_2 можно пренебречь даже для самых низких частот диапазона из-за их большой емкости). Если уменьшить громкость настолько, чтобы движок регулятора оказался против первого отвода, то прохождение сигнала изменится. Сигналы самых низких частот диапазона (30—60 *гц*), для которых реактивное сопротивление конденсатора C_3 достаточно велико, попадут на сетку лампы без ослабления. Сигналы же более высоких частот частично замкнутся через этот конденсатор, и на управляющей сетке лампы их будет заметно меньше, а на самых высоких частотах (500—10 000 *гц*) они будут совсем незначительны. Таким образом, при уменьшении громкости с помощью тонкомпенсированного регулятора сигналы высших и средних звуковых частот уменьшаются гораздо быстрее, чем сигналы низших частот.

Когда движок регулятора оказывается еще ниже, против второго отвода, вступает в действие следующее звено тонкомпенсации.

В результате при дальнейшем уменьшении громкости частотная характеристика усилителя будет изменяться еще более резко. Такая схема позволяет корректировать частотную характеристику только в области низших частот, да и то приблизительно. Следует отметить, что потенциометры с отводами производят заводы, выпускающие радиоприемники. Они обычно бывают рассчитаны на вполне конкретную схему. Встречаются потенциометры с одним, двумя или тремя отводами. Емкости конденсаторов между отводами потенциометра и «землей» обычно подбирают опытным путем.

Хорошую компенсацию частотных искажений при уменьшении громкости позволяет осуществить регулятор, схема которого изображена на рис. 17, *в*. Резисторы R_2 и R_3 и конденсатор C_4 образуют Т-образный фильтр, на выходе которого сигнал линейно уменьшается

с ростом частоты. Конденсатор C_3 замыкает этот фильтр, но так как емкость его незначительна, он не влияет на работу фильтра на низших частотах (до 600—800 *гц*), но на высших частотах сопротивление конденсатора C_3 уменьшается и для частот 6 000—12 000 *гц* он представляет собой практически короткое замыкание. В результате сигнал на выходе фильтра сначала линейно уменьшается при увеличении частоты от 30—40 до 800—1 500 *гц*, а затем вновь начинает возрастать при дальнейшем увеличении частоты. При соответствующем подборе элементов фильтра можно добиться, чтобы его характеристика соответствовала так называемым «кривым равной громкости» нормального слуха на самых малых уровнях громкости.

Если такой фильтр включить в схему регулятора громкости, как показано на рис. 17, *в*, то в верхнем (по схеме) положении движков резисторов $R_{гр}$ и R_1, соответствующем наибольшей громкости, фильтр окажется замкнут накоротко резистором R_1 и поэтому не будет влиять на частотную характеристику усилителя. По мере уменьшения громкости шунтирующее действие резистора R_1 уменьшается, фильтр включается в цепь прохождения сигнала и частотная характеристика усилителя изменяется в соответствии с кривыми равной громкости. Это схема позволяет получить хорошую тонкомпенсацию частотных искажений при регулировании громкости и может быть рекомендована радиолюбителям. Недостаток ее — необходимость применять сдвоенный резистор ($R_{гр}$ R_1).

На рис. 17, *г* приведена аналогичная схема регулятора громкости, разработанная автором, но не требующая сдвоенного резистора. В этой схеме потенциометр включен так, что сигнал на управляющую сетку лампы снимается не с движка регулятора, а со всего резистора $R_{гр}$. В результате выходное сопротивление фильтра не меняется с уменьшением громкости, что позволяет сохранить необходимую форму частотной характеристики при любой громкости. Из схемы видно, что в крайнем верхнем положении движка регулятора, соответствующем максимальной громкости, фильтр замкнут накоротко, а по мере уменьшения громкости он включается в цепь прохождения сигнала. При указанных на схеме номиналах деталей регулятор обеспечивает почти идеальную тонкомпенсацию, соответствующую кривым равной громкости.

Для уменьшения возможных наводок уровня и фона все детали тонкомпенсированного регулятора громкости нужно монтировать на отдельной изоляционной планке и поместить в экран с соблюдением правил монтажа входных цепей.

Схема регулятора громкости для транзисторных усилителей приведена на рис. 17, *д*. В отличие от обычной некомпенсированной схемы сигнал подводится к движку потенциометра, а цепь базы первого транзистора усилителя подключена к крайним выводам потенциометра. Это вызвано необходимостью иметь входное сопротивление усилителя, почти не зависящее от положения движка регулятора громкости.

Нередко применяют схему (рис. 17, *е*), в которой громкость регулируется путем изменения отрицательной обратной связи по напряжению в первом каскаде усилителя. Схему на рис. 17, *д* можно применять во всех случаях, а схему на рис. 17, *е* — только при условии, что конденсатор между коллектором транзистора и регулятором громкости будет иметь достаточную емкость.

В транзисторных усилителях также могут быть применены схемы, приведенные выше. Однако из-за весьма низких сопротивлений тран-

зисторных схем все номиналы деталей, входящих в тонкомпенсирующие фильтры должны быть изменены и подобраны опытным путем. При этом стабильность формы частотной характеристики не удается получить такой же, как для ламповых схем.

Схемы регулирования тембра

Любое регулирование тембра в усилителе представляет собой изменение его частотной характеристики. Установлено, что для более естественного воспроизведения передач с различным частотным содержанием необходимо соответственно изменять и частотную характеристику усилителя. Так, при речевых передачах диапазон воспроизводимых звуковых частот желательно ограничить с нижней стороны частотами 100—200 *гц*, а на частотах 4 000—6 000 *гц* создать небольшой подъем частотной характеристики. При передаче симфонической музыки частотная характеристика должна быть почти линейной во всей полосе пропускания, а при воспроизведении джазовой и эстрадной музыки необходимо подчеркнуть низшие (30—80 *гц*) и крайне высшие (8 000—12 000 *гц*) звуковые частоты.

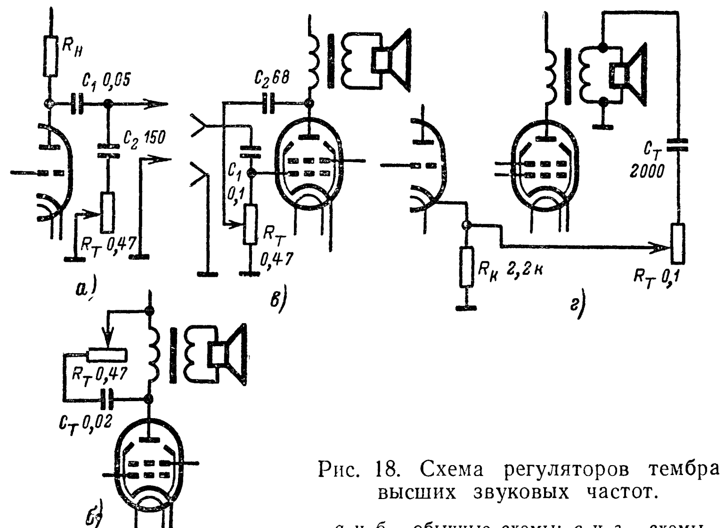


Рис. 18. Схема регуляторов тембра высших звуковых частот.

а и *б* — обычные схемы; *в* и *г* — схемы с отрицательной обратной связью.

Для произвольного изменения частотной характеристики в простые усилители низкой частоты вводят один или два, а в более сложные усилители — несколько регуляторов тембра, каждый из которых регулирует характеристику в определенном интервале частот.

Простейшие схемы регуляторов тембра (рис. 18) обычно ограничивают характеристику усилителя по высшим звуковым частотам (выше 5 000 *гц*). При этом ими можно только ослаблять («заваливать») усиление на высших частотах по отношению к условной середине частотного диапазона (частота 1 000 *гц*).

Две схемы (рис. 18, *а* и *б*) построены по принципу шунтирования сопротивления нагрузки каскада реактивным сопротивлением конденсатора, а две другие (рис. 18, *в*, *г*) регулируют частотную характеристику путем изменения напряжения отрицательной обратной связи. Последние две схемы лучше первых, так как одновременно с регулированием тембра уменьшаются нелинейные искажения усилителя.

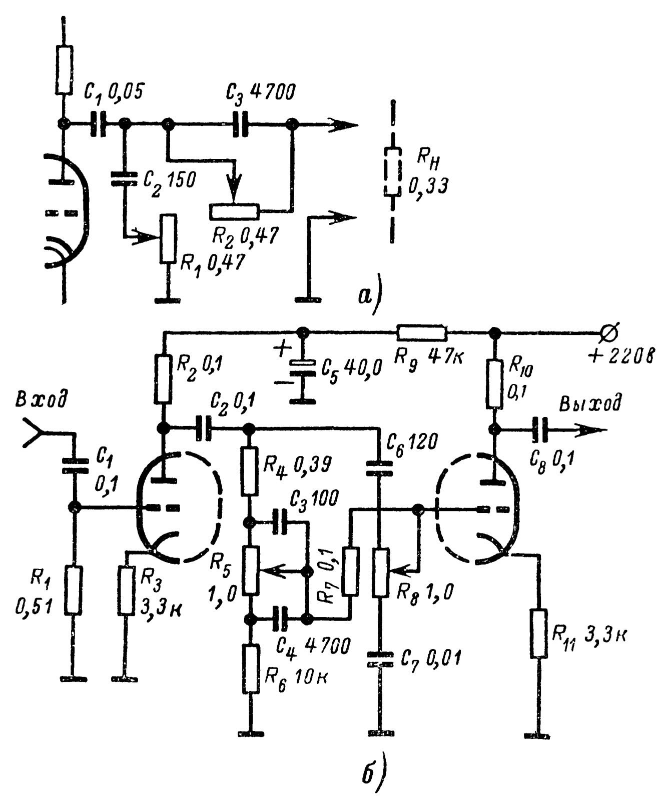


Рис. 19. Регуляторы тембра высших и низших звуковых частот.

а — простая схема; *б* — типовая схема.

На рис. 19, *а* приведена схема включения регуляторов тембра, с помощью которой можно ослаблять усиление раздельно на высших и низших звуковых частотах. Однако в большинстве случаев применяют регуляторы тембра, позволяющие раздельно регулировать частотную характеристику как на высших, так и на низших частотах полосы пропускания, причем оба регулятора должны обеспечивать как завал, так и подъем характеристики на крайних частотах по отношению к условной средней частоте (1 000 *гц*) в определенное число раз.

Наиболее распространенная схема (рис. 19, *б*) построена на принципе использования шунтирующего действия конденсаторов. При соответствующем выборе сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов схема может дать глубину регулировки тембра до 20 *дб*. Недостаток схемы — низкий коэффициент передачи, лежащий, как правило, в пределах от 0.05 до 0,15. Это заставляет вводить допол-

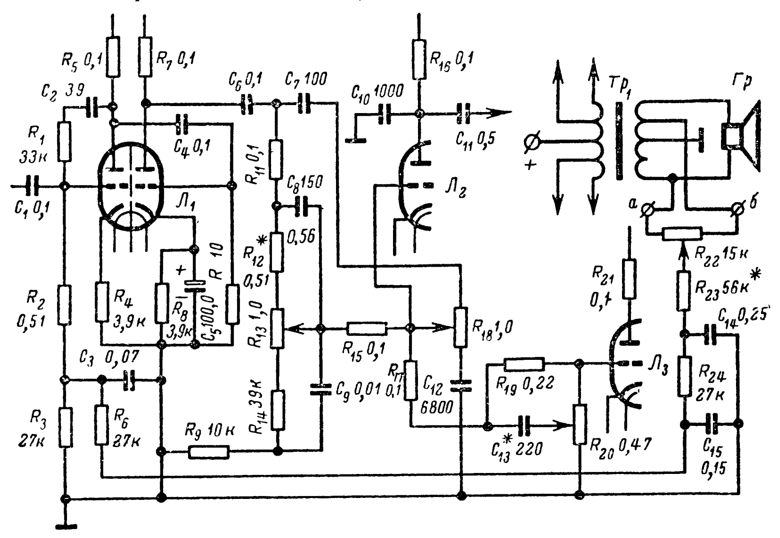


Рис. 20. Схема раздельных регуляторов тембра для высококачественного усилителя.

нительный каскад усиления. В то же время эта схема позволяет получить высокую стабильность формы частотной характеристики, полную независимость регулировок и может быть рекомендована радиолюбителям как основная для любых усилителей.

Для регулировки тембра можно использовать отрицательную и положительную обратную связи. В этом случае регуляторы включают по схеме, показанной на рис. 20. В этой схеме, разработанной автором, имеются четыре отдельных регулятора тембра. Первый из них (R_{22}) регулирует частотную характеристику в диапазоне от 20 до 100 *гц*, второй (R_{13}) — от 100 до 1 000 *гц*, третий (R_{18}) — от 1 000 до 7 000 *гц* и четвертый (R_{20}) — от 7 000 до 16 000 *гц*. Действие всех регуляторов независимое. Взаимное влияние двух смежных регуляторов на частоте раздела не превышает 2 *дб*. В среднем положении всех регуляторов частотная характеристика усилителя получается прямолинейной в интервале от 20 до 20 000 *гц* с неравномерностью ± 1 *дб*. Первый и четвертый регуляторы позволяют менять уровень сигнала на ± 10 *дб*, второй и третий — на ± 6 *дб*.

Эта схема приведена как образец использования отрицательной и положительной обратной связи для регулирования тембра. Радиолюбителей, желающих повторить эту схему, следует предупредить,

что из-за имеющейся в ней положительной обратной связи при отсутствии специальных стабилизирующих мер схема склонна к самовозбуждению. Для налаживания этой схемы требуются звуковой генератор, осциллограф с приставкой, позволяющей наблюдать фазу сигнала, и электронные милливольтметры. Поэтому применение ее оправдано лишь для сложных высококачественных усилителей. Схема может быть рекомендована опытным радиолюбителям.

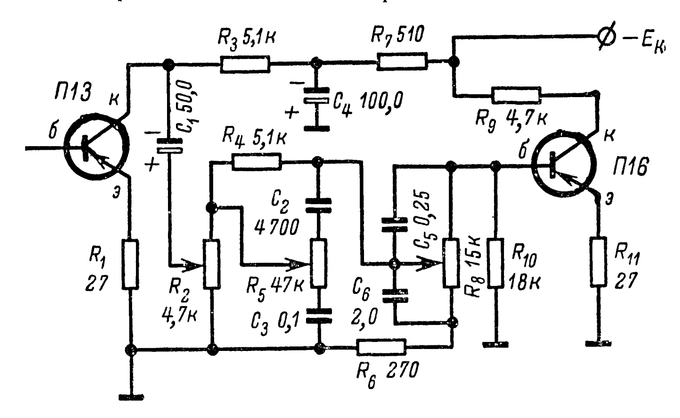


Рис. 21. Схема регуляторов тембра для усилителя на транзисторах.

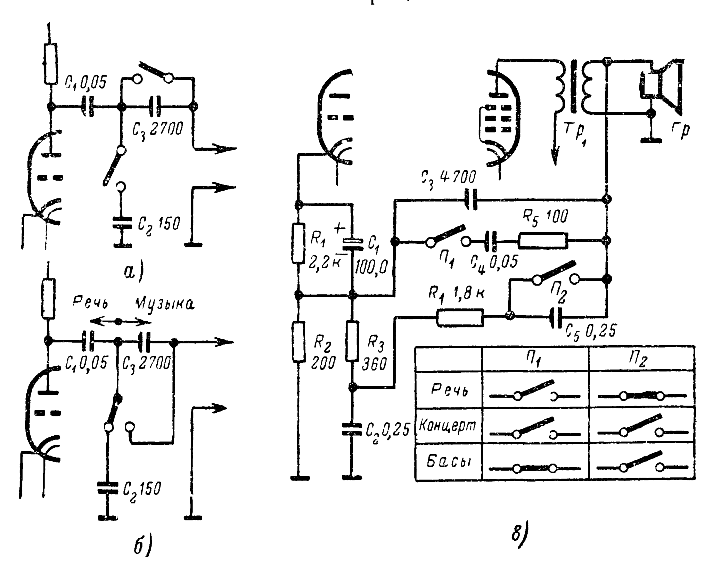


Рис. 22. Переключатели тембра.

а и *б* — для простейших усилителей; *в* — для усилителей с широкой полосой пропускания.

В усилителях на транзисторах значительно труднее, чем в ламповых, получить независимость регулировок. Объясняется это тем, что из-за низких сопротивлений транзисторов емкости конденсаторов приходится брать большими, а сопротивление резисторов — незначительными. В результате регулирование получается расплывчатым и приводит к некоторому взаимному перекрытию обоих регуляторов тембра на условной средней частоте диапазона. Одна из возможных схем включения раздельных регуляторов тембра высших и низших звуковых частот показана на рис. 21.

Поскольку к простым усилителям низкой частоты не предъявляют требований высококачественного воспроизведения звука, в них для удобства пользования применяют не плавное регулирование тембра, а скачкообразное. В этом случае в усилитель вводят переключатель, позволяющий при его помощи формировать две-три заранее выбранные частотные характеристики, соответствующие типовому содержанию передач. При двух положениях переключателя характеристики обычно соответствуют передачам речи и музыки, при трех положениях — передачам речи, симфонической и джазовой музыки.

На рис. 22 приведены три схемы переключателей тембра. Схемы рис. 22, *а*, *б* позволяют только ослаблять усиление на отдельных участках частотной характеристики, а схема на рис. 22, *в* — как усиливать, так и ослаблять сигнал на границах частотной характеристики. Указанные на рис. 22 номиналы деталей выбраны применительно к некоторым конкретным схемам на определенных лампах. При повторении их, возможно, придется в небольших пределах изменить номиналы отдельных деталей, чтобы получить в своих схемах необходимую глубину регулировки или изменить граничные частоты действия регуляторов тембра.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Выбор акустической системы

Как бы ни был хорош усилитель низкой частоты, но если он будет нагружен на акустическую систему плохого качества, то и воспроизведение звука будет плохое. Качество работы акустической системы зависит от четырех факторов: соответствия типов и количества выбранных громкоговорителей требованиям, предъявляемым к низкочастотному устройству; качества имеющихся громкоговорителей, конструкции акустического агрегата и тщательности его изготовления и сборки. Каждый из этих факторов может оказаться решающим для получения ожидаемых результатов и поэтому к каждому из них нужно отнестись со всей серьезностью. Рассмотрим каждый из этих факторов в отдельности.

Требования, предъявляемые к усилителю и определяющие его параметры, по существу представляют собой требования и к громкоговорителю. Полоса воспроизводимых громкоговорителем звуковых частот должна быть шире или, во всяком случае, не у́же полосы частот, которую должен пропустить усилитель. Если такого громкоговорителя найти не удается, необходимо применить несколько громкоговорителей разных типов, с тем чтобы суммарный диапазон частот, воспроизводимый ими, был не у́же полосы частот усилителя. При этом необходимо убедиться в том, что диапазоны воспроизво-

димых громкоговорителями частот взаимно перекрываются и в общем спектре частот отсутствует провал.

То же самое относится и к мощности, которую должен отдавать усилитель. Если ни один из имеющихся громкоговорителей не рассчитан на указанную мощность, тогда необходимо применить несколько громкоговорителей. суммарная мощность которых должна быть несколько выше номинальной выходной мощности усилителя. Это необходимо для того, чтобы при кратковременных превышениях номинальной мощности усилителя (при воспроизведении симфонической и джазовой музыки) громкоговорители не перегружались и не вносили заметных искажений. Для высококачественных усилителей суммарная мощность громкоговорителей должна быть вдвое больше номинальной мощности усилителя.

В случае использования нескольких громкоговорителей нужно, чтобы на группу низкочастотных громкоговорителей, воспроизводящих частоты до 5 000—6 000 *гц*, приходилось приблизительно 70% общей мощности агрегата.

Качеству громкоговорителей также должно быть уделено серьезное внимание. Прежде всего нужно убедиться, что диффузор громкоговорителя не помят и не имеет разрывов и проколов. Небольшие проколы и разрывы, если они находятся не на гофрированной части диффузора и не рядом с центрирующей шайбой и звуковой катушкой, могут быть аккуратно заклеены. Затем нужно проверить плавность и свободу перемещения звуковой катушки в магнитном зазоре громкоговорителя. При этом звуковая катушка должна перемещаться совершенно свободно, нигде не цепляясь за стенки магнитного зазора.

Вопрос о конструкции акустической системы должен быть решен еще до начала постройки усилителя, так как конструкция последнего зачастую зависит и определяется акустической системой. Если выбор схемы усилителя не представляет трудностей для радиолюбителя, то рекомендации по выбору конструкции акустических систем, как правило, найти довольно трудно. Нужно твердо помнить, что основное и главное при выборе конструкции акустической системы — форма и акустика помещения, в котором она будет работать.

При помощи акустического агрегата с номинальной мощностью громкоговорителей до 3 *вт* и сосредоточенными излучателями (большинство настольных и переносных конструкций приемников и магнитофонов) можно удовлетворительно озвучить лишь жилую комнату площадью 12—14 *м*² (имеется в виду не создание простой слышимости, а высококачественное воспроизведение различных программ). В помещениях площадью до 25—30 *м*² с формой, близкой к квадратной, удовлетворительное звучание может быть получено лишь при номинальной мощности громкоговорителя порядка 5 *вт*, причем в настольных конструкциях необходимо иметь отдельные высокочастотные громкоговорители как на передней, так и на боковых стенках футляра акустической системы, а для консольных конструкций желательно иметь выносные высокочастотные громкоговорители.

Помещения большей площади при помощи настольных и переносных конструкций удовлетворительно озвучить нельзя. В этом случае усилитель должен иметь неискаженную выходную мощность более 10 *вт* и разнесенную акустическую систему. Кроме того, в больших помещениях нельзя не учитывать неравномерность звукопоглощения и звукоотражения, а также реверберацию озвучиваемого помещения. Таким образом, озвучивание больших помещений представляет со-

бой весьма трудную задачу, если желательно получить высокое качество воспроизведения во всех точках этого помещения.

При самостоятельном изготовлении акустических систем даже грамотно выполненная конструкция может дать необходимое качество звучания лишь при условии использования соответствующих материалов и тщательном выполнении конструкции.

Материалы для акустических систем

Обязательные элементы любого акустического агрегата — футляр и отражательная доска (акустический щит). Оба эти элемента в значительной мере определяют качество звучания, особенно на низших звуковых частотах. Футляр и отражательную доску изготовляют из различных пород дерева. Изготовление футляров из металла и пластмасс нецелесообразно, так как они не удовлетворяют акустическим требованиям высококачественного воспроизведения и не могут быть рекомендованы радиолюбителям.

Для изготовления футляров пригодна многослойная фанера толщиной от 10 до 12 *мм*. Футляр из более тонкой фанеры будет слишком «гулким» и потребует применения дополнительных звукопоглотителей. Более толстая фанера делает футляр слишком массивным. Доски для изготовления футляра непригодны из-за большого числа щелей и стыков и малой механической прочности.

Для изготовления футляра пригодна только хорошо просушенная фанера, которая в готовой конструкции не даст «усадки» и коробления, приводящего обычно к появлению щелей и трещин. Для изготовления акустических щитов консольных конструкций фанера непригодна. Щиты для громкоговорителей этих конструкций изготовляют из брусков квадратного или прямоугольного сечения, вырезанных вдоль волокна из струганых досок толщиной 20—30 *мм* так называемой «музыкальной» ели или, в крайнем случае, из обычной ели или сосны. Другие породы дерева для изготовления высококачественных акустических щитов менее пригодны, а такие, как береза или дуб, вообще не годятся. Доски перед распиловкой на бруски должны быть тщательно высушены.

При изготовлении высококачественных акустических систем применяют также звукопоглощающие и демпфирующие материалы. Наиболее дешевый и доступный звукопоглощающий материал — войлок, а демпфирующий — листовая литая резина толщиной 2—3 *мм*.

Для отделки готовых футляров применяют шпон ценных пород деревьев (орех, карельская береза, красное дерево), в качестве драпировочной ткани для лицевой стороны футляра — «радиоткань» или обычную шерстяную ткань (типа «шотландка»). Плотные ткани для этой цели непригодны.

Изготовление акустических систем

Изготовление акустической системы несложно, но требует исключительной аккуратности. Сделанная наспех и кое-как система не даст хорошего звучания.

Футляр изготовляют из авиационной 10-миллиметровой фанеры. Сборку нужно производить с помощью столярного клея. С внутренней передней стороны будущего футляра крепят два бруска, к ко-

торым будет привинчиваться отражательная доска. Затем футляр фанеруют шпоном.

Отражательная доска собирается с помощью хорошего столярного или казеинового клея из тщательно подогнанных отдельных брусков. Просохшую и обработанную доску фанеруют шпоном и опиливают по внутренним размерам футляра. Затем вырезают отверстия под громкоговорители и сверлят по два-три отверстия с каждой из боковых сторон под шурупы для крепления доски к футляру. Зачистив доску наждачной бумагой, ее обтягивают драпировочным материалом.

Совершенно недопустимо приклеивать материал с лицевой стороны доски. Вырезанный кусок материала нужно наложить на доску, загнуть верхний край материала на обратную сторону и преклеить его с этой стороны столярным клеем. Когда клей хорошо просохнет, материал равномерно натягивают и таким же способом приклеивают его с противоположной стороны. Чтобы материал остался плотно натянутым на время просыхания клея, его прибивают маленькими сапожными гвоздями, которые вынимают после окончательной просушки. Таким же путем приклеивают и противоположные боковые стороны материала. Перед сборкой и установкой отражательной доски лишнюю (выступающую) часть материала срезают. Каждый громкоговоритель перед установкой на доску помещают в марлевый мешочек.

При сборке всей системы между брусками футляра и отражательной доской прокладывают полоски из листовой резины толщиной 1—2 *мм* для предотвращения дребезжания.

Подбор, размещение и фазирование громкоговорителей

При выборе громкоговорителя нужно обратить внимание на собственную резонансную частоту подвижной системы. Резонансная частота обычно указывается заводом-изготовителем на диффузородержателе или на упаковочной коробке. Многие громкоговорители одного и того же типа выпускаются с двумя разными резонансными частотами. Для акустической системы, содержащей один громкоговоритель, используют экземпляр с более низкой резонансной частотой.

В акустических системах, состоящих из двух однотипных громкоговорителей, следует применять громкоговорители с разными резонансными частотами. Если выбранный тип громкоговорителей выпускается только с одним значением резонансной частоты, то и тогда можно отобрать громкоговорители с резонансными частотами, отличающимися на 25—35 *гц*, так как у разных экземпляров всегда есть разброс собственных частот механического резонанса.

Для определения резонансной частоты подвижной системы громкоговоритель присоединяют к звуковому генератору через резистор сопротивлением 50—100 *ом*, а параллельно выводам звуковой катушки подключают электронный милливольтметр. Затем от звукового генератора подают напряжение частоты 200 *гц* (например, 100 *мв*) и начинают медленно понижать частоту генератора до тех пор, пока напряжение на громкоговорителе не достигнет максимума (при этом, возможно, придется переключить вольтметр на следующую шкалу) и вновь начнет уменьшаться. Частота, соответствующая максимуму напряжения на звуковой катушке громкоговорителя, и есть резонансная частота подвижной системы.

Для применения в акустической системе желательно отобрать громкоговорители с «тупым» резонансом. Если в качестве высокочастотных громкоговорителей используют маломощные громкоговорители типа 1ГД-9, 1ГД-18 и др., то отбирают экземпляры с более высокой частотой собственного резонанса.

Для консольных акустических систем подбирают громкоговорители с предельно «тупой» резонансной кривой и наиболее низкой частотой собственного резонанса для низкочастотного и наиболее высокой — для высокочастотного излучателя. В высококачественных акустических системах для воспроизведения высоких частот обычно применяют громкоговорители ВГД или рупорные излучатели «Кинап».

Особо следует остановиться на размещении громкоговорителей в акустическом агрегате. Можно рекомендовать несколько правил, которых желательно придерживаться.

При конструировании акустической системы из нескольких низкочастотных громкоговорителей нужно максимально ослабить их взаимное влияние. Это достигается при фронтальном расположении громкоговорителей и прямоугольно-кубической форме футляра с открытой задней стенкой. Если по конструктивным или иным соображениям форма футляра отличается от прямоугольной или если громкоговорители расположены под углом друг к другу, то необходимо соседние громкоговорители разделить перегородкой из фанеры толщиной 4—6 *мм* на всю глубину футляра и по высоте превышающую диаметр большего из громкоговорителей на 10—15%. Обе стороны этой перегородки должны быть оклеены войлоком.

Когда в состав акустического агрегата входят несколько низкочастотных, среднечастотных и высокочастотных громкоговорителей, нужно помнить, что излучение низкочастотных громкоговорителей, как правило, более мощное и менее направленное, чем высокочастотных. К тому же низшие звуковые частоты меньше поглощаются и отражаются мягкими предметами, поэтому низкочастотные громкоговорители лучше расположить в нижней части конструкции, непосредственно над полом комнаты (для консольных конструкций). При этом интенсивность и равномерность звука в любой части помещения будет удовлетворительной. Кроме того, при таком расположении низкочастотных громкоговорителей смягчается неприятный «ударный» эффект, появляющийся при воспроизведении резких низких звуков (большой барабан, контрабас).

Для высокочастотных громкоговорителей имеется обратная закономерность. Высшие звуковые частоты обладают резко выраженной направленностью. Они сильно поглощаются мягкими предметами (ковры, шторы) и в то же время хорошо отражаются от ровных поверхностей с малым коэффициентом поглощения (стены, полированная мебель, зеркала, окна), что приводит к появлению в помещении многократно отраженных сигналов. Имея разные фазы, эти сигналы взаимно складываются и вычитаются, создавая в помещении зоны с большой неравномерностью звука. Это приводит к тому, что создать в комнате удовлетворительное распределение высших звуковых частот можно лишь при четырех—шести высокочастотных громкоговорителях. Лучше всего один из них поместить на отражательной доске над основными (низкочастотными) громкоговорителями, два других поместить на боковых противоположных стенках футляра, а еще два сделать выносными, подобрав их расположение по наиболее равномерному звучанию.

Однако все изложенное относится лишь к случаю использования

усилителей с широкой полосой пропускания и большой выходной мощностью.

Если система состоит из нескольких громкоговорителей, то они должны быть обязательно сфазированы между собой. Это значит, что у громкоговорителей, имеющих один фронт излучения, диффузоры в один и тот же момент должны двигаться в одинаковых направлениях. Это может быть получено лишь при правильном электрическом соединении громкоговорителей между собой. Чтобы правильно, синфазно включить громкоговорители, поступают следующим образом. От звукового генератора к одному из фазируемых громкоговорителей подводят сигнал частотой 200±50 *гц* такой величины, чтобы получить мощность звука, соответствующую 0,05—0,1 номинальной выходной мощности. Затем, не переставая слушать звук со стороны излучателя, параллельно первому громкоговорителю подключают второй. Если при этом громкость звука заметно возрастает, значит, громкоговорители включены синфазно. При уменьшении громкости необходимо изменить полярность у второго громкоговорителя на обратную. Таким же образом параллельно двум сфазированным громкоговорителям подключают третий и все остальные.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОЩНОСТЬЮ до 5 *вт*

Акустические системы с суммарной мощностью громкоговорителей до 5 *вт* обычно имеют один, два, реже — три или четыре громкоговорителя. Все они выполняются либо как настольные, либо как переносные.

Настольные конструкции используют для радиоприемников, переносные — для магнитофонов и транзисторных приемников.

Акустические системы из одного громкоговорителя применяют исключительно для переносной малогабаритной аппаратуры. В них чаще всего применяют громкоговорители 1ГД-9 (1ГД-18) номинальной мощностью 1 *вт* и полосой воспроизводимых частот от 100 до 10 000 *гц* или 2ГД-3 мощностью 2 *вт* и полосой от 70 до 10 000 *гц* и реже — 4ГД-1 мощностью 4 *вт* и полосой от 60 до 12 000 *гц* или 5ГД-14 мощностью 5 *вт* и полосой от 60 до 12 000 *гц*. В настольной аппаратуре один громкоговоритель используют лишь в малогабаритных телевизорах или в батарейных приемниках.

Для громкоговорителей мощностью 1 *вт* и менее отражательных досок обычно не применяют. В этом случае прикрепляют громкоговорители непосредственно к одной из стенок футляра или к металлическому шасси радиоаппарата.

Громкоговорители 4ГД-1 и 5ГД-14 применяют исключительно для переносных радиопроигрывателей. В этом случае их размещают либо в отдельном чемодане, либо на откидной крышке проигрывателя. И в том, и в другом случае днище или крышка чемодана служит отражательной доской.

Акустические системы из двух громкоговорителей одного типа часто встречаются в настольных радиоприемниках и телевизорах. Для приемников обычно используют два громкоговорителя 1ГД-5, 1ГД-6 или 2ГД-3, а для телевизоров — 1ГД-18. Иногда громкоговорители 1ГД-18 применяют в настольных транзисторных приемниках и весьма часто — в переносных магнитофонах.

В настольных приемниках оба громкоговорителя располагают рядом на одной отражательной доске из 6—10-миллиметровой фане-

ры и помещают на лицевой стороне футляра над шкалой приемника или сбоку от нее. Формат отражательной доски — 1 : 2 для громкоговорителей 1ГД-5 и 2ГД-3 и — 1 : 3,5 для громкоговорителей 1ГД-9. В телевизорах громкоговорители 1ГД-9 часто располагают вертикально рядом с кинескопом. В магнитофонах громкоговорители располагают в зависимости от конструктивных особенностей аппарата.

Акустические системы из трех или четырех громкоговорителей получили большое распространение в промышленной и радиолюбительской аппаратуре бытового назначения. В них применяют громкоговорители двух типов — широкополосные и высокочастотные. Такие

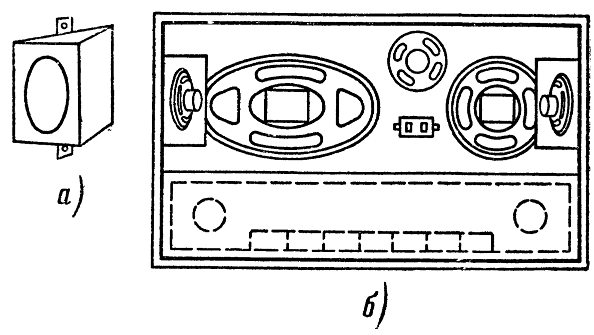


Рис. 23. Конструкция футляра для настольного приемника 1-го класса.

а — эскиз короба высокочастотного громкоговорителя; *б* — расположение громкоговорителей в футляре.

же системы нужно рекомендовать и радиолюбителям, так как вполне удовлетворительное качество звучания достигается при относительно небольших затратах и простоте конструкции.

Типовая акустическая система, рассчитанная на номинальную отдаваемую мощность 4 *вт*, содержит два громкоговорителя 2ГД-3, расположенные рядом на отражательной доске, и два громкоговорителя 1ГД-9 (1ГД-18), установленные на боковых стенках футляра. Отражательные доски для высокочастотных громкоговорителей не обязательны.

Поскольку широкополосные громкоговорители 2ГД-3 довольно хорошо излучают высшие звуковые частоты, рекомендуемая акустическая система создает весьма удовлетворительное распределение звука по всему помещению, если оно не превышает по размерам 14—18 $м^2$.

Для усилителей с выходной мощностью порядка 5 *вт* можно рекомендовать вместо двух громкоговорителей 2ГД-3 установить один эллиптический громкоговоритель 5ГД-14, (снабженный дополнительным высокочастотным рупором) позволяющий воспроизводить звук в широкой полосе частот. Для этого громкоговорителя нужно применить отражательную доску из фанеры толщиной не менее 10—12 *мм*. Высокочастотные громкоговорители могут остаться те же.

Акустическая система с пятью громкоговорителями, предназначенная для модели в настольном оформлении, питается от двухканального усилителя низкой частоты (рис. 23).

Громкоговорители 5ГД-14 и 2ГД-3 подключены к выходу низкочастотного канала, имеющего выходную мощность 5 *вт*. Первый из них подключают непосредственно к выводам вторичной обмотки выходного трансформатора, а второй — через разделительный конденсатор емкостью 10 *мкф* (обязательно бумажный). Этим уменьшается влияние механического резонанса второго громкоговорителя на суммарную акустическую характеристику агрегата.

Остальные три громкоговорителя — высокочастотные ВГД. Они подключены к выходу соответствующего канала, выходная мощность которого 1,5 *вт*. В крайнем случае можно использовать громкоговорители 1ГД-18, что, однако, менее желательно.

Громкоговорители канала низких частот и один из высокочастотных громкоговорителей располагают на клееной отражательной доске. Фанера для изготовления отражательной доски в этом случае не годится. Остальные высокочастотные громкоговорители могут быть размещены одним из двух способов.

В первом случае каждый из них укрепляют на наружной стороне специального короба, показанного на рис. 23, *а*. Сам короб приклеивают или привинчивают с внутренней стороны к боковой стенке футляра. Для выхода звука в этом месте футляра делают отверстие и задрапировывают его тканью или закрывают декоративной решеткой. При такой конструкции боковые громкоговорители оказываются расположенными под углом 45° к акустической оси основных громкоговорителей, что позволяет сравнительно равномерно распределить высшие звуковые частоты по всей площади помещения.

Во втором случае высокочастотные громкоговорители делают выносными и подбирают их наилучшее расположение в помещении.

При любом способе расположения как основные, так и высокочастотные громкоговорители должны быть сфазированы между собой. Взаимное расположение громкоговорителей в футляре приведено на рис. 23, *б*.

Такая акустическая система в состоянии удовлетворительно озвучить помещение площадью до 40 $м^2$ и выдерживает без искажений полуторакратную перегрузку.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОЩНОСТЬЮ от 5 до 25 *вт*

Акустические агрегаты мощностью более 5 *вт* строят исключительно в консольном (напольном) оформлении и почти всегда для высококачественных усилителей. Исключение составляют небольшие радиокомбайны, содержащие приемник, телевизор и проигрыватель. В связи с этим к акустическим агрегатам повышенной мощности предъявляют весьма высокие требования. Они довольно дороги и сложны в изготовлении и требуют применения дефицитных громкоговорителей. Такие акустические системы могут быть рекомендованы лишь высококвалифицированным радиолюбителям, располагающим необходимой базой для их постройки и соответствующей аппаратурой для регулировки и налаживания. В то же время лишь подобные акустические системы в состоянии приблизить воспроизведение звука к натуральному звучанию. Интерес к таким конструкциям среди опытных радиолюбителей довольно высок. Поэтому ниже приводится подробное описание нескольких консольных агрегатов.

Малогабаритная консольная акустическая система предназначена для работы с переносным магнитофоном, всеволновым полупрофессиональным радиоприемником, электропроигрывателем или телевизором. Чаще всего каждый из этих аппаратов имеет свой усилитель низкой частоты и свою акустическую систему, однако качество звучания их обычно бывает неудовлетворительным из-за малых габаритов и упрощенной акустической системы. В то же время эти аппараты могли бы воспроизводить более широкий диапазон частот.

Для этого можно рекомендовать разработанную автором небольшую акустическую систему, выполненную в виде журнального стола,

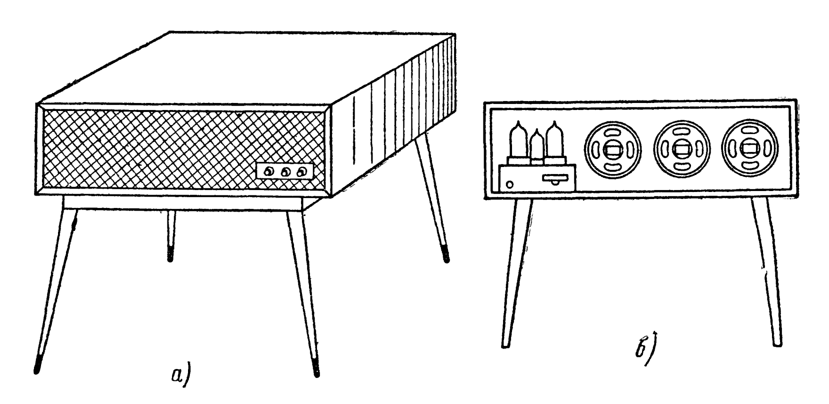


Рис. 24. Акустический агрегат-столик.

а — внешний вид; *б* — внутренний вид.

Она занимает в комнате мало места и имеет хорошие акустические данные. Внутри смонтированы универсальный усилитель с собственными регуляторами громкости и тембра и громкоговорители. В этом случае усилитель НЧ и акустическую систему имеющегося приемника, телевизора и т. п. не используют, а сигнал низкой частоты с помощью переходного шланга подают на вход универсального усилителя акустической системы. Акустическая система столика состоит из трех громкоговорителей 2ГД-3 и двух выносных громкоговорителей ВГД. В крайнем случае их можно заменить громкоговорителями 1ГД-9 (1ГД-18).

Внешний вид столика приведен на рис. 24, *а*. Конструкция столика (рис. 24, *б*) настолько проста, что не требует особых пояснений.

Громкоговорители 2ГД-3 размещены на отражательной доске, изготовленной из отдельных еловых брусков. Все громкоговорители включают параллельно и синфазно.

Футляр изготовляют из 10-миллиметровой авиационной фанеры. Снаружи его фанеруют шпоном ореха или карельской березы. К днищу футляра привинчивают или приклеивают ножки.

Во время работы устройство включают в сеть, на столик устанавливают источник сигнала (магнитофон, приемник, и т. п.) и соединяют усилитель столика с выходом приемника, магнитофона и т. п. В нерабочем состоянии столик может быть использован как журналь-

ный. Подробное описание усилителя к этому столику приведено на стр. 60—66.

Другая малогабаритная акустическая система состоит из двух одинаковых агрегатов, разнесенных на некоторое расстояние друг от друга и позволяющих равномерно озвучивать сравнительно большие (50—70 *м*²) помещения. Каждый из этих агрегатов имеет равномерную широкополосную частотную характеристику и номинальную выходную мощность 7,5 *вт*. Оба агрегата вместе рассчитаны на мощность 15 *вт*, но выдерживают без перегрузки среднюю мощность в 20 *вт* и пиковую до 25 *вт*. Поскольку оба агрегата совершенно идентичны, приводим подробное описание только одного из них.

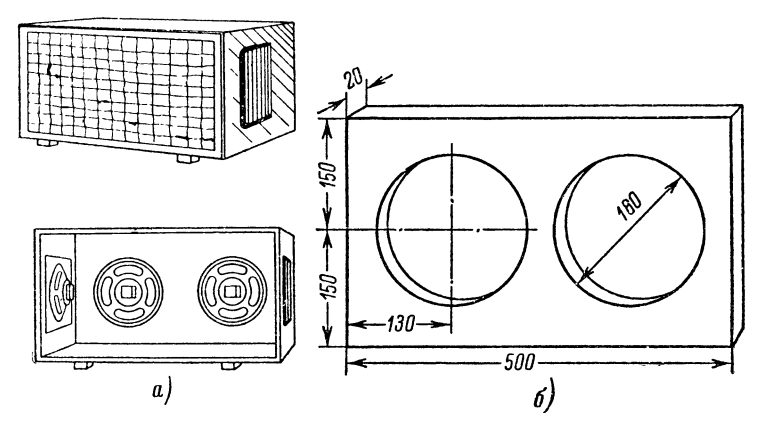


Рис. 25. Конструкция малогабаритного акустического агрегата.

а — футляр; *б* — отражательная доска.

Акустическая система состоит из двух широкополосных громкоговорителей 4ГД-1 и двух высокочастотных громкоговорителей 1ГД-18. Первые из них расположены фронтально на одной общей отражательной доске, представляющей собой переднюю стенку футляра. Два других расположены на противоположных боковых стенках футляра каждый на своей отражательной доске. Передняя отражательная доска склеена из брусков музыкальной (в крайнем случае обычной) ели, а боковые — из 10-миллиметровой фанеры. Общий вид футляра показан на рис. 25, *а*, а размеры и разметка отверстий основной отражательной доски приведены на рис. 25, *б*.

Футляр собирают, придерживаясь указаний, приведенных на стр. 41—42. Затем внутреннюю сторону верхней, нижней и боковых его стенок оклеивают войлоком толщиной 2—3 *мм*. В тех местах боковых стенок, где будут находиться высокочастотные громкоговорители, в войлоке делают вырезы по размерам отражательных досок для этих громкоговорителей. Проложив уплотняющие резиновые прокладки толщиной 1—2 *мм*, укрепляют шурупами на боковых стенках футляра отражательные доски с громкоговорителями 1ГД-18.

Основные громкоговорители соединяют параллельно и синфазно, высокочастотные — через разделительный конденсатор емкостью

4 *мкф.* Оба акустических агрегата подключают к широкополосному усилителю, подробное описание которого приведено на стр. 76.

Акустическая система «ромашка» была разработана автором как широкополосная акустическая система мощностью 8—10 *вт* без мощных низкочастотных громкоговорителей. Изготовление высококачественных акустических систем без хороших низкочастотных громкоговорителей особенно интересует радиолюбителей, так как приобретение хороших низкочастотных громкоговорителей сопряжено с трудностями.

Система «ромашка» состоит из 8 или 12 громкоговорителей 1ГД-18 и обеспечивает неискаженную отдаваемую мощность соответственно 6 или 10 *вт*. Полоса воспроизводимых звуковых частот лежит в пределах от 60 до 12 000 *гц*. Смысл конструкции состоит в том, что каждый из громкоговорителей 1ГД-9 — широкополосный и удовлетворительно воспроизводит частоты от 80 до 12 000 *гц*. Более низкие частоты хотя и воспроизводятся им, но имеют уровень на 5—10 *дб* ниже, чем на средних частотах. Если несколько таких громкоговорителей расположить по кругу некоторого радиуса на массивной отражательной доске акустической камеры с собственной резонансной частотой в области 40 *гц*, то общая полоса частот, воспроизводимых всеми громкоговорителями, оказывается сдвинутой в сторону собственной резонансной частоты акустической камеры. В то же время при большом числе громкоговорителей их собственные резонансные частоты оказываются распределены в некотором (практически довольно большом) участке спектра, в результате чего суммарная частотная характеристика всей системы оказывается весьма равномерной в диапазоне от 45—60 до 12 000—14 000 *гц*. Общая мощность, отдаваемая системой, определяется суммой номинальных мощностей всех громкоговорителей.

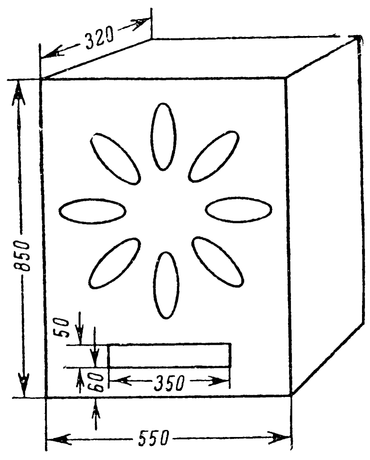


Рис. 26. Акустическая система «ромашка».

В области высших звуковых частот система хотя и обладает направленным действием, но охватывает весьма широкий фронт благодаря тому, что фактический диаметр излучения в несколько раз превышает диаметр рупорного излучателя отдельного громкоговорителя.

Размеры футляра и отражательной доски такой акустической системы приведены на рис. 26. Доску изготовляют из клееных брусков сосны или ели, а футляр — из 10—12-миллиметровой фанеры. Футляр изнутри оклеивают войлоком. К нижней его доске привинчивают или приклеивают четыре короткие ножки. Устанавливают агрегат в углу комнаты. Питать его можно от любого широкополосного одноканального усилителя выходной мощностью 6—10 *вт*.

При сборке агрегата особенно строго нужно проследить за синфазностью включения громкоговорителей. Соединять их можно параллельно-последовательными группами, для чего общее число примененных громкоговорителей должно быть четным, а еще лучше кратным четырем. Общее сопротивление системы должно быть согласовано с выходным сопротивлением усилителя.

Акустическая система типа «веер» построена на том же принципе, что и предыдущая. Свое название она получила из-за веерообразного расположения громкоговорителей.

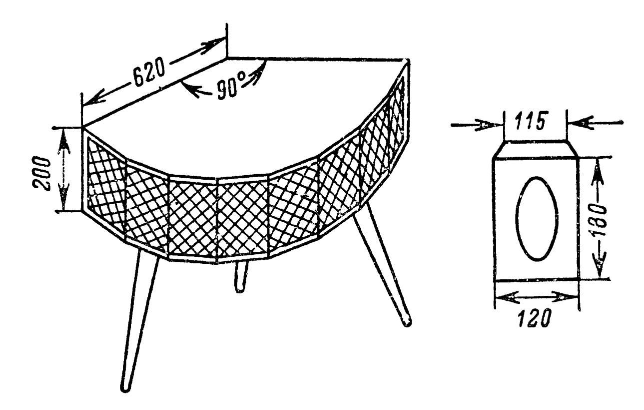


Рис. 27. Акустическая система «веер».

Эта система имеет значительно меньшие габариты, чем предыдущая, но несколько сложнее в изготовлении. Она состоит из восьми громкоговорителей 1ГД-18, расположенных, как показано на рис. 27. Там же проставлены и основные размеры футляра.

Верхняя, нижняя и боковые стенки футляра сделаны из фанеры толщиной 8—10 *мм*, а передняя (отражательная доска) — составная, собранная из восьми одинаковых отражательных досок (конструкция и размеры одной из них приведены на том же рисунке).

Каждую отражательную доску выпиливают из клееной еловой или сосновой доски, изготовленной из отдельных брусков (см. стр. 42), а затем их склеивают вместе так, чтобы получилась единая целая доска. Изготовление такой составной доски требует больших затрат труда и особой тщательности. Зато качество звучания с ней намного выше, чем с обычной фанерной отражательной доской.

Ножки для футляра — деревянные, точеные. Способ их крепления — любой. В нерабочем состоянии акустическая система может выполнять функции столика, поэтому она не будет лишней в жилом помещении.

Драпировочный материал нужно применить такой, чтобы он гармонировал с цветом фанеровки футляра.

Конструкция предназначена для установки в углу комнаты, чем и вызвана ее необычная форма. В этом случае получается вполне удовлетворительное распределение звука в помещении площадью до 35 $м^2$.

Двадцативаттная широкополосная акустическая система содержит девять громкоговорителей. Она достаточно сложна и трудоемка в изготовлении и может быть рекомендована лишь квалифицированным радиолюбителям, располагающим двухканальным усилителем и широкополосными источниками низкочастотного сигнала. Иначе возможности этой системы окажутся нереализованными, а затраты на ее изготовление — неоправданными. Кроме того, для практического использования динамического диапазона, на который рассчитан акустический агрегат, требуется помещение площадью 50—80 $м^2$.

Общий вид акустического агрегата, его размеры и размещение в нем громкоговорителей приведены на рис. 28. В состав акустической системы входят два мощных низкочастотных громкоговорителя 10ГД-5 (в крайнем случае, 6ГД-1-РРЗ от приемника «Рига-10»), два среднечастотных громкоговорителя 2ГД-3, три высокочастотных громкоговорителя 1ГД-18 и два выносных высокочастотных громкоговорителя ВГД-1. Низкочастотные громкоговорители подключают непосредственно к выходу низкочастотного канала, среднечастотные — к тому же выходу, но через разделительный конденсатор емкостью 5—10 *мкф*, чтобы собственные резонансные частоты этих громкоговорителей оказались вне полосы воспроизведения. Высокочастотные громкоговорители 1ГД-18 и выносные ВГД-1 подключают к соответствующим выходам высокочастотного канала.

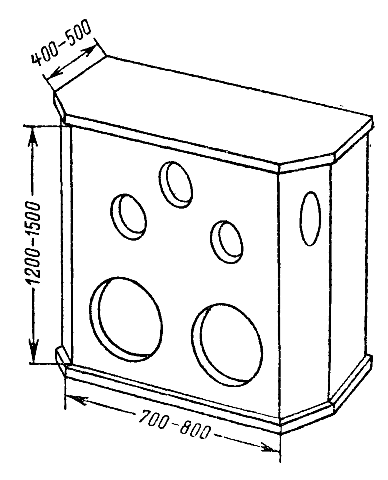


Рис. 28. Акустическая система для широкополосного усилителя 1-го класса.

Граничная частота раздела усилителей выбрана в области 7 000 *гц*. В низкочастотном канале должны быть предусмотрены регуляторы тембра низших и высших звуковых частот, а функцию третьего регулятора тембра может выполнять регулятор уровня высокочастотного канала.

Отражательная доска футляра склеена из брусков музыкальной ели. Применение обычной ели менее желательно, а остальных пород — недопустимо. Внизу, под громкоговорителями 10ГД-5, в доске проделана акустическая щель. Громкоговорители 2ГД-3 укрепляют на специальных коробах-отражателях из 8-миллиметровой фанеры, расположенных на отражательной доске под углом 25—35° к ней. В месте выхода звука этих громкоговорителей в отражательной доске выпиливают окна соответствующего размера. Размещение громкоговорителей 1ГД-18 понятно из рисунка. Выносные громкоговорители ВГД-1 располагают в отдельных небольших ящиках-футлярах, габариты и конструкция которых некритичны. Положение этих громкоговорителей в помещении подбирают по наиболее равномерному распределению высших звуковых частот и отсутствию «мертвых зон».

Вся система должна быть выполнена весьма тщательно, чтобы при работе агрегата не наблюдалось дребезжаний. Боковые, верхнюю и нижнюю стенки футляра оклеивают изнутри войлоком.

Некоторые замечания о конструировании радиол, магнитол и радиокомбайнов

При конструировании настольных радиол радиолюбитель обычно сталкивается с неприятным явлением, заключающимся в том, что усилитель начинает «выть», т. е. начинается самовозбуждение усилителя. Это явление наблюдается при повышении громкости до некоторого предела и, по существу, не дает возможности использовать номинальную мощность усилителя. Объясняется оно тем, что при большой громкости стенки футляра радиолы начинают колебаться в такт со звуком. Эти колебания передаются корпусу проигрывателя, а через него — на иглу звукоснимателя. Если эти колебания совпадают по фазе с вынужденными колебаниями иглы, создается положительная обратная связь, приводящая к самовозбуждению усилителя.

Поскольку фаза механического колебания зависит от свойств передающего материала и частоты колебаний, легко видеть, что при неизменных свойствах материала в любой момент на какой-нибудь частоте воспроизводимого спектра фаза будет положительной, что и приведет к обязательному самовозбуждению усилителя. Однако сигналы более высоких частот больше затухают в материале футляра. Поэтому с точки зрения появления самовозбуждения наиболее опасны самые низкие звуковые частоты.

Путь борьбы с этим явлением состоит в уменьшении механико-акустической связи между иглой звукоснимателя и футляром и в ограничении низкочастотной части полосы воспроизведения усилителя.

Во-первых, нужно применять мягкую подвеску проигрывателя к корпусу радиолы. Следует заметить, что применение стандартных пружин, имеющихся на корпусе фабричного проигрывателя, не обеспечивает устойчивую работу при мощности более 3 *вт*.

Можно рекомендовать радиолюбителям применять специальный переходный демпфирующий пояс, представляющий собой алюминиевую пластинку толщиной 1,5—2 *мм*, к которой сверху на фабричных пружинах крепят проигрыватель, а снизу по всему периметру приклеивают рант из мягкой микропористой резины шириной 25—30 и толщиной 10—15 *мм* (см. рис. 56). Панель помещают под крышкой радиолы на клею, избегая каких бы то ни было жестких соединений.

Для выполнения второго условия лучше всего при помощи переключателя рода работы подключать звукосниматель ко входу усилителя через разделительный конденсатор или специальный фильтр, ограничивающий частотную характеристику усилителя в области частот 90—120 *гц*.

Наилучшим решением нужно считать введение в схему усилителя отдельного дополнительного регулятора громкости специально для звукоснимателя, который должен иметь частотно-зависимую регулировку, позволяющую ослаблять самые низшие звуковые частоты при увеличении громкости.

Кроме того, полезно между звукоснимателем и усилителем установить еще один коммутируемый фильтр, ограничивающий полосу пропускания на частотах выше 6 000 *гц* при воспроизведении обыч-

ных записей со скоростью 78 *об/мин*. Это исключит из передачи неприятное шипение, характерное для старых записей. Нужно, однако, помнить, что все эти дополнительные устройства подключают ко входу усилителя, поэтому необходимо соблюдать правила монтажа входных цепей, чтобы не повысить уровень фона.

При создании магнитол нужно также тщательно коммутировать низкочастотный сигнал во избежание появления фона. Помимо этого, надо проследить, чтобы электродвигатель магнитофона и питающие провода не сказались вблизи первой лампы усилителя и ее цепей.

При компактном монтаже магнитолы лучше всего изолировать входную часть усилителя от магнитных полей магнитофона стальным экраном. С другой стороны, головки магнитофона и магнитную ленту надо защитить от влияния магнитных полей громкоговорителя. Для этого лучше всего использовать специальные громкоговорители с кольцевыми магнитами, имеющими ничтожные поля рассеяния. Такие громкоговорители выпускаются наряду с обычными и имеют те же электрические данные (1ГД-19, 2ГД-19 и др.).

Наконец, необходимо исключить наводки от трансформатора питания усилителя или приемника магнитолы на головки, что также достигается соответствующей экранировкой и использованием ленточного сердечника для трансформатора питания.

При конструировании радиокомбайнов, т. е. устройств, содержащих несколько разных радиоаппаратов и имеющих, как правило, общий усилитель низкой частоты, все указанные замечания остаются в силе. Кроме того, если в радиокомбайн входит телевизор, то необходимо учитывать очень сильные электростатические поля на частоте 15 625 *гц* (частота строчной развертки телевизора), излучаемые аквадагом кинескопа и всеми деталями блока строчной развертки и высоковольтного выпрямителя. Хотя эта частота и лежит на границе слышимого диапазона звуковых частот и часто находится за пределами оговоренной полосы пропускания усилителя низкой частоты, влияние этих полей на усилитель весьма ощутимо и обычно приводит к недопустимой перегрузке усилителя на этой частоте. В результате на остальных частотах усилитель начинает работать с недопустимыми искажениями.

Для борьбы с этим видом наводок в усилитель включают один или несколько фильтров, ограничивающих полосу пропускания выше 14 000 *гц*, а также применяют электростатическое экранирование как усилителя низкой частоты, так и излучающих узлов строчной развертки телевизора (строчный выходной трансформатор, оконечную генераторную лампу, высоковольтные цепи и, наконец, колбу кинескопа у стеклянных трубок).

При конструировании радиокомбайна очень важно исключить влияние магнитных цепей громкоговорителей на кинескоп, так как из-за этого соответствующая сторона растра может оказаться искривленной. Для предотвращения влияния магнитных цепей нужно применять громкоговорители с малыми полями рассеяния, либо располагать их дальше от кинескопа, либо устанавливать между ними стальной экран.

В радиокомбайн целесообразно ввести коммутатор рода работ, который позволяет коммутировать цепи питания всех аппаратов от сети переменного тока, а также все выходы низкочастотных сигналов этих аппаратов и вход общего усилителя низкой частоты. Коммутатор должен быть надежно экранирован от влияния всех полей и воз-

можных наводок. Все провода к нему и от него должны быть экранированы, но в то же время они должны иметь минимальную длину, так как длинные экранированные провода создают заметный «завал» частотной характеристики в области высших звуковых частот. Части коммутатора, переключающие цепи питания и цепи низкой частоты, должны быть разделены между собой экраном для избежания наводок со стороны переменного тока на входную цепь усилителя.

Так как акустическая система радиокомбайна, как правило, имеет мощность выше 5 *вт*, особое внимание нужно уделять мягкой под-

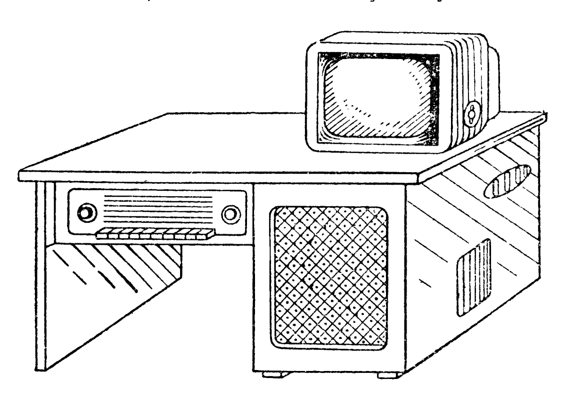


Рис. 29. Вариант конструкции радиокомбайна.

веске платы электропроигрывателя во избежание акустической обратной связи.

С появлением малогабаритных узлов и деталей, позволяющих конструировать портативные переносные магнитофоны, приемники и электропроигрыватели, мощные и громоздкие радиокомбайны теряют свой основной смысл — меньшие габариты, по сравнению с суммарным объемом всех входящих в него отдельных радиоаппаратов.

В наши дни целесообразнее каждый из входящих в комбайн аппаратов делать автономным и конструктивно законченным. В каждом из них должен быть свой усилитель низкой частоты, очень простой по конструкции и отдающий неискаженную мощность 1—2 *вт*. Главными качествами таких аппаратов должны быть компактность и высокие электрические параметры до входа усилителя низкой частоты. Кроме того, нужно иметь высококачественный акустический агрегат с хорошим мощным широкополосным усилителем низкой частоты, ко входу которого можно быстро и просто подключить магнитофон, приемник, звукосниматель и т. п.

Такое устройство должно полностью вытеснить из радиолюбительской практики тяжелые и громоздкие радиокомбайны, поскольку оно, сохраняя высокие электроакустические данные каждого аппарата при стационарном использовании, позволяет в то же время использовать каждый из них автономно.

Конструктивно такое устройство может быть выполнено по типу однотумбового стола, в боковой части (тумбе) которого может на-

ходиться акустическая система; сверху может быть установлен телевизор, а остальная часть (верхняя доска и нижняя полка) используются либо как место для установки электропроигрывателя или магнитофона, либо как обычный письменный стол.

Возможный вариант конструкции такого устройства изображен на рис. 29.

Проверка и налаживание акустической системы

Когда усилитель полностью отрегулирован, приступают к регулировке акустической системы, которая сводится к проверке правильности фазировки всех громкоговорителей и к выявлению и устранению дребезжаний.

Выше было рассказано, как с помощью звукового генератора правильно сфазировать громкоговорители. Однако при последовательном включении громкоговорителей пользоваться этим способом трудно, так как вместо последовательного отключения громкоговорителей их приходится замыкать накоротко. Но при этом разница в громкости звучания получается незначительной и правильно сфазировать громкоговорители довольно трудно. В этом случае приходится фазировать громкоговорители при помощи источника постоянного тока, например батарейки от карманного фонаря. В момент подключения батарейки к проводам, соединяющим громкоговорители со вторичной обмоткой выходного трансформатора, диффузоры правильно сфазированных громкоговорителей должны двигаться в одну сторону. В противном случае придется поменять местами выводы от тех громкоговорителей, диффузоры которых двигаются в другую сторону.

Для выявления посторонних дребезжаний на вход усилителя подают от звукового генератора сигнал такой величины, чтобы к акустическому агрегату оказалась подведена номинальная электрическая мощность. После этого, поддерживая уровень сигнала на нагрузке неизменным, медленно изменяют частоту генератора в диапазоне от 30—40 до 15 000—18 000 *гц* и внимательно слушают звук, воспроизводимый агрегатом. При появлении на какой-либо частоте дребезжания прекращают изменять частоту генератора и устраняют причины выявленного дефекта. Таким образом, необходимо внимательно прослушать агрегат на всех частотах вплоть до верхней границы полосы воспроизведения.

Если внутри акустической системы расположены только громкоговорители, то дребезжание чаще всего бывает при задевании выводных проводов звуковой катушки о корпус. Для устранения этого достаточно слегка подогнуть выводные провода.

Когда акустический агрегат напольный и сделан на тонких ножках, то при максимальной мощности на низких частотах (30—80 *гц*) причиной дребезжания может быть недостаточное механическое сцепление ножек агрегата с полом (особенно паркетным). В этом случае нужно прибить или приклеить на ножки резиновые амортизаторы.

Если внутри акустической системы находится усилитель или приемник или если акустическая система служит основой радиокомбайна, то источники дребезжания почти всегда находятся в составных узлах конструкции. В этих случаях нужно очень тщательно прослушать всю систему в различных режимах работы при максимальной выходной мощности и на всех частотах и также найти и устранить причины дребезжания.

Доведение параметров усилителя до требуемых

Нередко оказывается, что, несмотря на правильный расчет, тщательное изготовление и грамотную регулировку, собранный усилитель не дает требуемых качественных показателей. Это может проявляться в недостаточной выходной мощности, или недостаточной полосе пропускания, или в большом уровне фона и т. п. Поэтому ниже рассматриваются некоторые способы доведения параметров усилителя до расчетных.

Увеличение выходной мощности и снижение нелинейных искажений при однотактном оконечном каскаде, собранном по обычной схеме, может быть достигнуто перемоткой выходного трансформатора. Сделав отвод от первичной обмотки, применяют ультралинейное включение лампы. Эта мера обычно позволяет при правильном подборе отвода снизить нелинейные искажения в 2,5—3 раза. Чтобы правильно выбрать место подключения экранирующей сетки, нужно сделать несколько отводов от первичной обмотки выходного трансформатора. Однако при ультралинейном включении чувствительность оконечного каскада, а следовательно, и всего усилителя уменьшается. Поэтому одновременно приходится увеличивать усиление предварительных каскадов.

Для уменьшения нелинейных искажений можно ограничиться отключением блокировочного конденсатора в цепи катода оконечной лампы. В этом случае также придется увеличивать усиление предварительных каскадов.

Неискаженная выходная мощность оконечного каскада, как правило, гораздо меньше зависит от анодного напряжения, чем от напряжения на экранирующей сетке. Повышение этого напряжения приводит к некоторому увеличению отдаваемой мощности. Однако следует помнить, что выход из строя лампы оконечного каскада гораздо чаще происходит из-за перегрузки экранирующей сетки, чем из-за перегрузки анода. Поэтому при необходимости немного повысить отдаваемую мощность можно допустить повышение коэффициента использования оконечной лампы, доведя напряжение на ее экранирующей сетке до 0,9 от предельного значения.

Все изложенное относится и к двухтактному оконечному каскаду. Однако здесь большой коэффициент нелинейных искажений может быть вызван асимметрией его плеч из-за неидентичности оконечных ламп или выходных напряжений фазоинверторного каскада, а также из-за асимметрии половин первичной обмотки выходного трансформатора.

Чтобы определить степень асимметрии первичной обмотки выходного трансформатора, нужно отключить его от схемы и подать на вторичную обмотку напряжение 1—2 *в* частоты 1 000 *гц* от самого низкоомного выхода звукового генератора и при помощи лампового вольтметра тщательно измерить напряжение на половинках первичной обмотки. Если будет обнаружена разница напряжений, то трансформатор придется перемотать. Для снижения разброса в числе витков половин первичной обмотки следует наматывать ее секционно. Для этого каркас трансформатора делят дополнительной третьей щечкой пополам и наматывают обе половины обмотки одновременно в два провода.

В оконечном каскаде желательно применять лампы производства одного завода и одного года выпуска. При возможности лучше использовать лампы из одной партии, а еще лучше — из одной коробки.

Для уменьшения нелинейных искажений нужно отобрать две лампы с одинаковым (или очень близким) значением анодного тока в статическом режиме. Это можно сделать либо на специальном измерителе ламп, либо в своем усилителе при помощи миллиамперметра, включенного в анодную цепь. Очень полезно отобрать не две, а четыре лампы, чтобы при выходе из строя одной из них можно было заменить ее запасной.

Небольшая асимметрия ламп в динамическом режиме может быть устранена путем регулировки напряжения смещения одной из них, для чего резистор автоматического смещения этой лампы на время регулировки заменяют потенциометром.

Асимметрию выходных напряжений фазоинвертора обычно устраняют более тщательной его регулировкой. Попутно следует отметить, что фазоинвертор может быть причиной и недостаточной выходной мощности оконечного каскада. Это происходит в том случае, когда максимальное выходное неискаженное напряжение фазоинвертора недостаточно для раскачки ламп оконечного каскада.

Расширение полосы пропускания требуется в том случае, если в одном из участков схемы происходит завал характеристики. Может оказаться, что таких участков несколько, и к каждому из них придется применить свои методы для расширения полосы пропускания.

В первую очередь проверяют оконечный каскад, для чего сигнал от генератора подают на управляющую сетку лампы оконечного каскада и снимают его частотную характеристику. Если выходной каскад двухтактный, сигнал к его сеткам подводят от симметричного выхода звукового генератора через разделительные конденсаторы. Использовать для этой цели вспомогательный переходный трансформатор недопустимо. При снятии частотной характеристики необходимо все время следить за формой напряжения на выходе. Частоты, на которых искажения формы превышают допустимые, не могут считаться входящими в полосу пропускания.

Если выяснится, что полоса пропускания оконечного каскада ограничена на участке низших звуковых частот или что на этих частотах нелинейные искажения слишком велики, то это указывает на малую индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора. В этом случае нужно применить железо большего сечения и увеличить на 30—50% число витков обеих обмоток, сохранив неизменным коэффициент трансформации. Недостаточная индуктивность первичной обмотки двухтактных трансформаторов может оказаться и в том случае, если сердечник трансформатора собран с зазором.

Значительные поля рассеяния выходного трансформатора или появление паразитной частотно-зависимой отрицательной обратной связи могут быть причиной ограничения частотной характеристики оконечного каскада в области высших звуковых частот.

Большие поля рассеяния трансформатора могут уменьшаться только изменением его конструкции и перемоткой (секционированная намотка, применение ленточных сердечников и т. д.), а паразитная обратная связь — более рациональным монтажом и соответствующей экранировкой.

Фазоинвертор, как правило, не вносит частотных искажений. Однако полезно снять отдельно и его частотную характеристику.

Если полоса пропускания фазоинвертора недостаточна, то необходимо тщательно проверить номиналы всех переходных конденсаторов каскада и убедиться в отсутствии ошибок монтажа.

В предварительном резистивном каскаде завал характеристики в области низших звуковых частот определяется малой емкостью переходного конденсатора и устраняется увеличением этой емкости. Завал характеристики на высших звуковых частотах устраняется уменьшением паразитной емкости монтажа и частотно-зависимой отрицательной обратной связи путем более рационального монтажа и экранирования. Для устранения завала характеристики на высших звуковых частотах можно также рекомендовать уменьшить сопротивления резисторов анодной нагрузки до 47—82 *ком* для триодов и до 120—150 *ком* для пентодов.

В усилителях записи и воспроизведения магнитофонов частотная характеристика усилителя зависит от параметров воспроизводящей и записывающей головок и корректируется специальными цепями.

Полоса пропускания усилителя в целом непосредственно связана с параметрами цепей регулирования тембра, которые будут рассмотрены отдельно. Заметим только, что если в усилителе имеется всего один регулятор тембра высших частот, то он может вызвать завал частотной характеристики усилителя. В этом случае даже при полностью введенном сопротивлении цепь регулятора тембра шунтирует нагрузку и уменьшает усиление на высших частотах. Если при отпаивании такого регулятора частотная характеристика усилителя расширится, необходимо увеличить сопротивление потенциометра регулятора тембра до 0,47—1 *Мом*. У регуляторов тембра, помещенных в цепи обратной связи, эта мера ничего не даст. В таких случаях нужно уменьшать емкость конденсатора, через который снимается напряжение обратной связи, хотя при этом несколько изменятся пределы регулирования.

Расширить пределы регулирования тембра можно, соответствующим образом изменив номиналы резисторов и конденсаторов, входящих в схему регуляторов. При этом необходимо иметь в виду следующее. Если регулятор тембра собран по простейшей схеме и предназначен для ослабления усиления на краях частотной характеристики, то можно изменить только глубину этого ослабления, но при этом изменится и граничная частота, до которой заметно влияние регулятора. Для высокочастотного регулятора тембра увеличение емкости соединенного с ним конденсатора приводит к ослаблению усиления на высших частотах и одновременно к смещению граничной частоты в сторону более низких частот. Для низкочастотного регулятора, работающего по такому же принципу, уменьшение емкости конденсатора, включенного последовательно с переходным конденсатором и замыкаемого потенциометром регулятора, также приводит к ослаблению усиления на низших частотах и одновременно к смещению граничной частоты в сторону высших частот.

Если регуляторы тембра усилителя выполнены по типовой схеме (рис. 19, *б*), позволяющей осуществлять как подъем, так и завал частотной характеристики раздельно на высших и низших звуковых частотах, то степень завала частотной характеристики на высших частотах можно увеличить изменением емкости конденсатора C_7, которая может быть доведена до 0,02 *мкф* в ламповых схемах и до 1—2 *мкф* в транзисторных, а степень подъема на высших частотах — увеличением емкости конденсатора C_6 до 150—250 *пф* в ламповых схемах и до 4 700—5 100 *пф* в транзисторных. Глубину регулирования низкочастотным регулятором тембра можно увеличить, уменьшая сопротивления резисторов R_4 и R_6. Частоту раздела регуляторов

и степень их взаимного влияния можно менять путем изменения сопротивления резистора R_7.

В регуляторах тембра, построенных на принципе изменения величины обратной связи, пределы регулирования можно изменять, меняя параметры цепи обратной связи. Однако в этом случае нельзя дать конкретных рекомендаций, так как схем регулирования тембра с использованием обратной связи довольно много и все они весьма индивидуальны.

Для уменьшения уровня фона и собственных шумов необходимо прежде всего выявить его источник, которым обычно бывает входной каскад усилителя. Чтобы убедиться в этом, достаточно вынуть из панельки первую лампу усилителя или, если первый каскад собран на половине сдвоенной лампы, замкнуть через электролитический конденсатор емкостью 150—250 *мкф* анод первого триода на шасси. Пропадание фона при этом подтвердит, что источник фона — первый каскад.

Дальше надо выяснить причину появления фона. Начать нужно с отключения цепи питания нити накала. Для этого оба провода цепи питания нити накала отпаивают от панельки лампы и на их место припаивают два небольших проводника, которые соединяют с накальной обмоткой трансформатора питания через двухполюсный тумблер. Затем, включив тумблером накал, дожидаются, пока лампа проверяемого каскада достаточно прогреется и, следя за стрелкой прибора, измеряющего уровень фона на выходе усилителя, выключают тумблер. Если при этом в первый момент уровень фона резко уменьшится и станет в пределах нормы, значит, источником фона является цепь питания нити накала лампы. В этом случае необходимо испробовать следующие меры:

подключить нить накала лампы первого каскада к отдельной обмотке трансформатора питания с применением специального делителя и балансировочного потенциометра;

отобрать специально лампу для первого каскада, имеющую минимальный уровень собственного фона;

снизить напряжение накала первой лампы с 6,3 до 5,6 *в*;

перевести питание нити накала первой лампы на постоянный ток.

Другим источником фона может быть цепь питания анода и экранирующей сетки первой лампы. В этом случае устранить фон можно добавлением в цепь анодного питания лампы *RC*-фильтра, состоящего из резисторов сопротивлением 30—50 *ком* и электролитического конденсатора емкостью 150—250 *мкф*.

Значительно труднее бороться с фоном, вызванным блуждающими токами в шасси. В этом случае прежде всего нужно привести в порядок монтаж входной цепи и тщательно проверить, не использовано ли где-нибудь шасси в качестве нулевого провода этих цепей. При обнаружении двух или нескольких точек заземления во входной цепи их нужно устранить. Если эти меры не помогут, нужно полностью освободить шасси от блуждающих токов. Для этого накальные цепи нужно перемонтировать, т. е. цепь питания нитей накала сделать двумя отдельными незаземленными проводами. Когда и эта мера окажется недостаточной, придется освободить шасси от всех соединенных с ним цепей. При этом нужно будет вдоль всех ламп проложить специальную «земляную» шину, представляющую собой отрезок толстой медной или посеребренной проволоки, закрепленной на изоляторах, к которой подсоединяют все «заземляемые» точки схемы, а саму шину соединить с шасси в одной точке, возможно дальше от первой

лампы. Заземляемые выводы резисторов утечки управляющей сетки и автоматического смещения первой лампы, а также нулевой провод входной цепи нужно соединить вместе и «заземлить» в одной точке на общую шину. Точку «заземления» выбирают опытным путем по минимуму фона на выходе усилителя.

Увеличение чувствительности усилителя может потребоваться после приведения к норме всех его параметров (повышения выходной мощности, снижения нелинейных искажений, расширения полосы пропускания и т. п.). Можно предложить несколько способов повышения чувствительности, основанных на увеличении коэффициента передачи каскада. Наиболее простой из них состоит в устранении отрицательной обратной связи любого из каскадов предварительного усиления путем блокирования резистора в цепи катода лампы конденсатором большой емкости (если разумеется, в схеме есть каскады, охваченные обратной связью), что дает увеличение усиления в 1,5—2,5 раза. К оконечному однотактному каскаду этот способ применять не следует, так как могут заметно возрасти нелинейные искажения. Совершенно недопустимо применять этот способ к одному из двух триодов фазоинвертора, собранного на двух лампах.

Второй, менее эффективный способ состоит в увеличении сопротивления резистора анодной нагрузки каскада в 1,5—2 раза. Это возможно лишь в том случае, если напряжение на аноде лампы при этом не понизится настолько, что приведет к появлению нелинейных искажений. Когда в схеме имеется несколько каскадов предварительного усиления, лучше одновременно увеличить сопротивления резисторов анодных нагрузок во всех каскадах. При этом вместе с увеличением сопротивления анодной нагрузки нужно изменить и напряжение смещения на управляющей сетке, с тем чтобы рабочая точка осталась на середине прямолинейного участка характеристики лампы. При значительном увеличении сопротивлений анодной нагрузки необходимо проверить, не привело ли это к ослаблению усиления в области высших звуковых частот и не нарушились ли пределы регулирования тембра.

Если весь усилитель охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, его чувствительность можно увеличить уменьшением глубины обратной связи. Для этого в цепь обратной связи достаточно ввести последовательно резистор, сопротивление которого подбирают опытным путем.

Значительно реже возникает необходимость уменьшить чувствительность усилителя. В таком случае достаточно произвести обратные действия, т. е. охватить несколько или все каскады отрицательной обратной связью по току, удалив блокирующие конденсаторы из цепей автоматического смещения, уменьшить сопротивления резисторов анодных нагрузок каскадов предварительного усиления и т. д.

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Усвоив изложенный в предыдущих разделах материал книги, радиолюбитель сможет создать тот или иной усилитель, составить его блок-схему, выбрать типы и количество ламп или транзисторов, составить полную принципиальную схему и выбрать тип и конструкцию акустического агрегата. Как пользоваться приведенным материалом,

будет понятно на примере конструирования усилителя с параметрами III группы.

Параметры и блок-схему усилителя выбирают в зависимости от его назначения. Допустим, что нужно построить стационарный усилитель для прослушивания грамзаписей в жилой комнате площадью 16 *м*². Радиолюбитель располагает стандартным трехскоростным проигрывателем для прослушивания обычных и долгоиграющих грампластинок.

С чего же начать конструирование, располагая этими сведениями?

В этом случае надо исходить из предположения, что усилитель должен полностью реализовать возможности и параметры, заложенные в источнике низкочастотных сигналов, подлежащих усилению. В данном случае таким источником является граммофонная пластинка, а не звукосниматель, как ошибочно полагают некоторые радиолюбители. Ширина полосы воспроизводимых звуковых частот и динамический диапазон звучания не могут быть сделаны больше, чем заложено в грампластинке. В то же время путем применения специальных схемных решений (резонансные фильтры, частотно-зависимая обратная связь) можно искусственно расширить полосу воспроизводимых частот, даже если звукосниматель значительно ослабляет усиление на границах звукового диапазона грампластинки. Таким образом, мы знаем два параметра будущего усилителя — полосу воспроизводимых звуковых частот и динамический диапазон, определяемые применением долгоиграющих грампластинок.

Динамический диапазон грамзаписи — это отношение самого громкого звука к самому слабому. Самым слабым звуком при воспроизведении грамзаписи считают тот посторонний шум, который вызван трением иглы звукоснимателя о неровности структуры звуковой дорожки при отсутствии записи (так называемые немые канавки). Этот шум имеет постоянную величину и занимает широкий спектр частот. Современные долгоиграющие грампластинки записаны с полосой частот от 40 до 14 000 *гц* и динамическим диапазоном около 50 *дб*. Следовательно, усилитель для электропроигрывателя должен иметь параметры, соответствующие первой группе (табл. 1). В этом случае он должен будет иметь выходную мощность не менее 10 *вт*, так как акустическая система меньшей мощности не сможет обеспечить соответствующий динамический диапазон звучания.

В то же время мы знаем, что проектируемый усилитель должен озвучивать комнату площадью 16 *м*². Согласно той же классификации такой усилитель должен иметь выходную мощность 2—4 *вт*, что соответствует второй группе.

При таких противоречиях, которые, кстати говоря, имеются почти во всех случаях проектирования усилителей, в серийной промышленной аппаратуре обычно идут на неиспользование возможностей источника низкочастотных сигналов.

В радиолюбительской практике, где вопрос качества главенствует над стоимостью, целесообразнее создать конструкцию, в которой часть параметров будет соответствовать одной группе, а часть — другой.

В нашем примере нужно сделать усилитель, пропускающий полосу частот, соответствующую возможности долгоиграющих грампластинок, имеющий уровень собственного фона не хуже минус 60 *дб*, а выходную мощность — порядка 3—4 *вт*,

При этом нелинейные искажения, соответствующие номинальной выходной мощности, также должны иметь величину, предусмотренную для усилителей первой группы, т. е. порядка 2—3%.

В результате такого предварительного анализа можно определить блок-схему конструируемого усилителя и его параметры:

неискаженная выходная мощность — 4 *вт*;

допустимые нелинейные искажения при этой мощности не должны превышать 2—3%;

полоса пропускания частот должна быть от 40 до 15 000 *гц*;

чувствительность со входа на частоте 1 000 *гц* — не хуже 0,2 *в* (стандартная чувствительность усилителя при воспроизведении грамзаписи);

уровень фона — минус 60 *дб*;

чтобы сохранить естественность звучания при любой громкости, нужно применить тонкомпенсированный регулятор громкости;

регуляторы тембра должны быть плавными и раздельными для низших и высших звуковых частот;

акустическая система должна быть широкополосной и малогабаритной, поскольку предназначается для небольшой комнаты.

Первые два параметра могут быть удовлетворены только при двухтактной схеме оконечного каскада с ультралинейным включением ламп. В то же время небольшая выходная мощность позволяет применить маломощные оконечные лампы. Очевидно, что оконечный каскад, удовлетворяющий указанным требованиям, может быть собран на двух лампах 6Ф3П.

Для реализации выбранной полосы частот необходим выходной трансформатор с большой индуктивностью первичной обмотки, малой индуктивностью рассеяния и, кроме того, с высокой степенью идентичности первичных обмоток для получения небольших нелинейных искажений. Наиболее подходящим следует считать трансформатор, намотанный секционно.

Для заданной чувствительности усилителя сделаем прикидочный расчет. Каждая из ламп 6Ф3П, кроме оконечного пентода, имеет еще триод для предварительного усиления, рассчитанный на использование совместно с пентодной частью. Такой двухламповый усилитель может иметь стандартную чувствительность порядка 0,1—0,2 *в* и мог бы удовлетворить нашим требованиям по чувствительности. Однако в проектируемом усилителе решено применить ультралинейное включение оконечных ламп, что снижает их чувствительность приблизительно в 1,5 раза. Применение раздельных регуляторов тембра потребует еще 15—20-кратного запаса по усилению. Тонкомпенсированный регулятор громкости, имеющий коэффициент передачи 0,3—0,5, также потребует увеличения усиления в 2—3 раза. Следовательно, необходимо повысить усиление в $1{,}5 \times 20 \times 3 = 90$ раз. Такое усиление мог бы дать каскад предварительного усиления на пентоде 6Ж1П, однако целесообразней применить пентод-триод 6Ф1П. При этом общее количество ламп (баллонов) в схеме не увеличится, но на пентодной части этой лампы можно собрать каскад предварительного усиления с коэффициентом передачи больше 100 (см. рис. 12), а триодную часть использовать в качестве фазоинвертора с раздельной нагрузкой (см. рис. 7), обладающего большой стабильностью, низким выходным сопротивлением и малой зависимостью симметрии выходных напряжений от параметров лампы. Однако наряду с достоинствами такой фазоинвертор обладает значительным недостатком — невозможностью получить большие выходные напряжения при сравнительно низком

анодном напряжении, что не позволяет получить от оконечного каскада необходимую выходную мощность при малых нелинейных искажениях.

В нашем случае это затруднение легко обойти, если между фазоинвертором и оконечным каскадом включить предоконечный каскад, который может быть собран на триодах ламп 6Ф3П. Тогда блок-схема усилителя примет вид, показанный на рис. 30.

Для обеспечения малого уровня фона нити накала ламп нужно питать от отдельных обмоток трансформатора питания, как это показано на схеме рис. 16, а также получить достаточную фильтрацию напряжения путем применения в фильтре выпрямителя конденсаторов с большой емкостью.

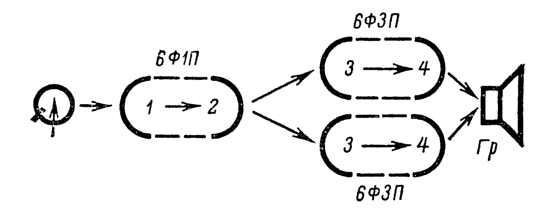


Рис. 30. Блок-схема усилителя.

1 — каскад предварительного усиления; *2* — фазоинвертор; *3* — предоконечный каскад; *4* — двухтактный оконечный каскад.

Регулятор громкости можно собрать по схеме рис. 17, *г*, а регуляторы тембра — по схеме рис. 19, *б*.

Составление принципиальной схемы начинаем с оконечного каскада. Возьмем за основу схему, изображенную на рис. 3, *б*. Так как при ультралинейном включении напряжение на экранирующих сетках оказывается почти равным анодному напряжению, а предельное напряжение на этих сетках для ламп 6Ф3П равно 170 *в*, необходимо включить в цепь каждой из них последовательно гасящие резисторы, сопротивление которых берем из табл. 3. Требуемые в этом случае блокирующие конденсаторы включать между экранирующими сетками и шасси недопустимо, так как нарушатся цепи отрицательной обратной связи, представляющие собой неотъемлемую часть ультралинейного режима. Включать блокировочные конденсаторы нужно параллельно гасящим сопротивлениям. По конструктивным соображениям применять здесь электролитические конденсаторы неудобно, поэтому можно ограничиться бумажными конденсаторами МБГП емкостью по 4 *мкф* на рабочее напряжение 160 *в*.

В качестве предоконечных каскадов мы решили использовать триодные части ламп 6Ф3П. Эту часть схемы можно собирать в соответствии с рис. 10. Так как при выбранной блок-схеме и лампах мы располагаем некоторым запасом по усилению, имеет смысл изъять блокирующие электролитические конденсаторы из катодной цепи, а два последовательно включенных резистора R_2 и R_3 заменить одним. При этом каскад будет охвачен отрицательной обратной связью по току, что уменьшит вносимые им нелинейные искажения, могущие оказаться значительными при больших амплитудах выходного напряжения.

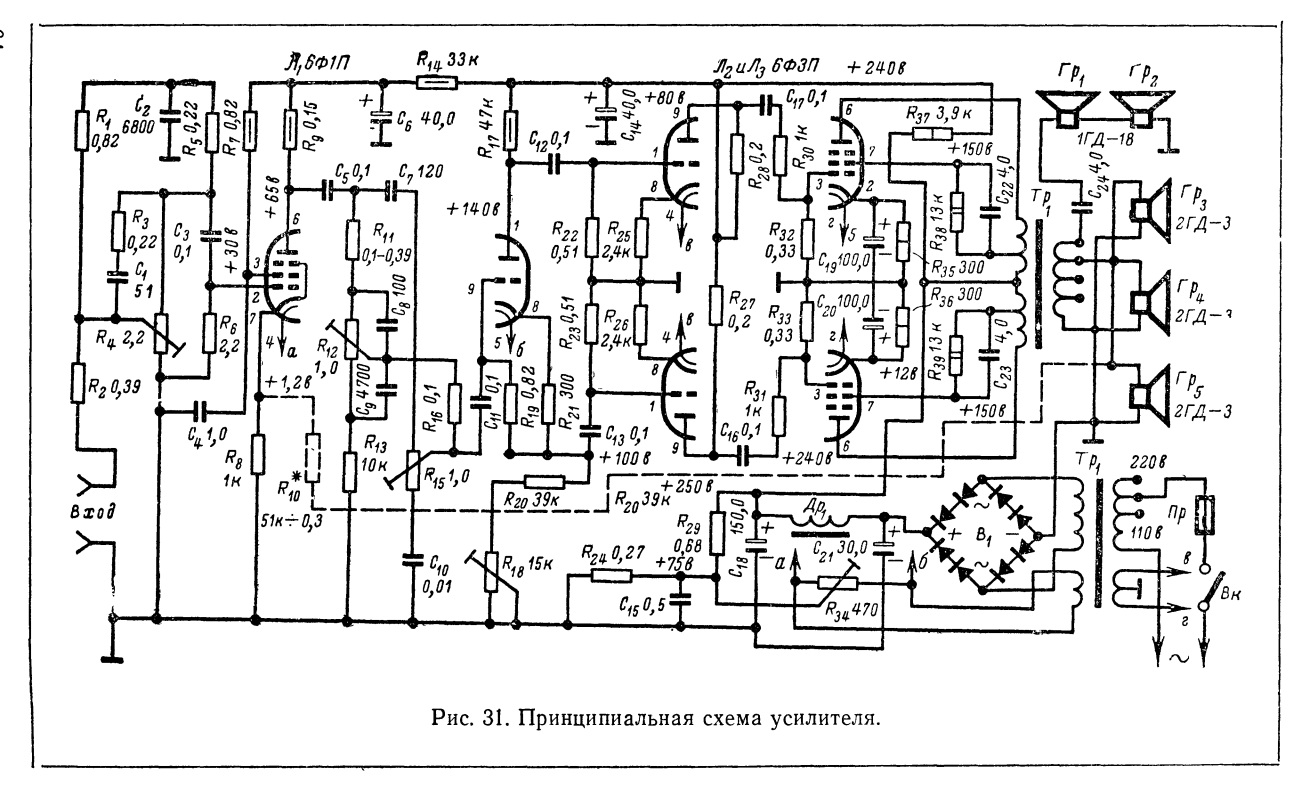


Рис. 31. Принципиальная схема усилителя.

Между первым и вторым каскадами предварительного усиления включаем регулятор тембра, а на входе первого каскада — тонкомпенсированный регулятор громкости.

Остается дополнить схему выпрямителем и специальным делителем цепи накала первой лампы, и полная принципиальная схема составленного таким образом усилителя примет вид, показанный на рис. 31.

Легко видеть, что все величины элементов схемы в этом случае не пришлось рассчитывать — они заимствованы из типовых схем каскадов. Точно так же можно составить и любую другую схему усилителя.

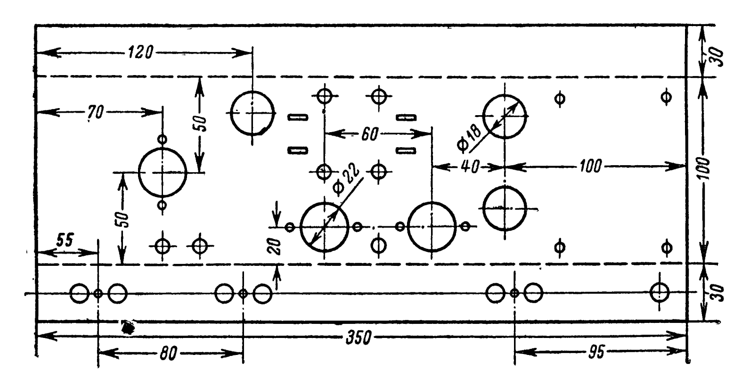


Рис. 32. Конструкция и основные размеры шасси усилителя.

Акустическую систему выбирают, исходя из выходной мощности усилителя 4 *вт*. Для избежания искажений при пиковых перегрузках акустическая система должна быть рассчитана на номинальную мощность 5—6 *вт*. Так как конструктивно акустический агрегат должен быть малогабаритным, необходимо принять меры, позволяющие при малом объеме акустической камеры достаточно эффективно воспроизводить низшие звуковые частоты. Для наших условий наиболее приемлемой оказывается конструкция акустического столика, состоящего из трех параллельно включенных широкополосных громкоговорителей 2ГД-3 и двух выносных высокочастотных громкоговорителей 1ГД-18. Подробные указания по изготовлению этой конструкции приведены на стр. 47.

Конструктивное оформление усилителя может быть произвольным. Один из наиболее удачных вариантов состоит в размещении усилителя внутри столика, вплотную к одной из боковых стенок его футляра.

Чертеж шасси и его основные размеры для такого варианта показаны на рис. 32. Основное, на что надо обратить внимание, — это надежное механическое крепление всех деталей усилителя, в том числе резисторов и конденсаторов. Такое требование вызвано тем, что усилитель находится внутри акустического агрегата и при номинальной выходной мощности может оказаться источником дребезжаний. Для предотвращения этого весь монтаж целесообразно выпол-

нить на изоляционной планке, а шасси усилителя прикрепить к дну футляра через резиновые амортизаторы. Удлинители осей регуляторов громкости и тембра желательно пропустить через переднюю отражательную доску не непосредственно, а сквозь специальные резиновые или войлочные втулки.

В заключение приводятся данные трансформатора питания для усилителя. Сердечник собран из пластин УШ-22, толщина набора 47 *мм*. Первичная обмотка содержит 800 витков ПЭЛ 0,51 с отводами от 400-го и 462-го витков. Повышающая обмотка содержит 820 витков провода ПЭЛ 0,35 *мм*. Накальная обмотка для ламп 6Ф3П име-

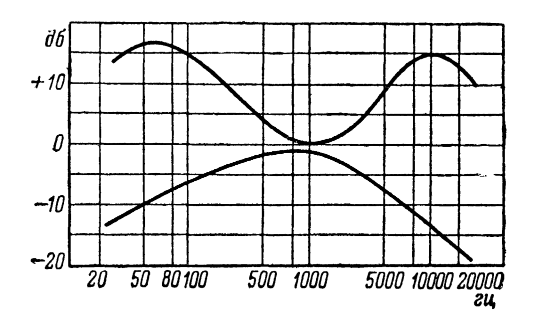


Рис. 33. Частотные характеристики усилителя при различных положениях регуляторов тембра.

ет 25 витков провода ПЭЛ 1,25, а обмотка накала лампы 6Ф1П — 25 витков провода ПЭЛ 0,44. Данные выходного трансформатора, способ его намотки и сборки приведены на стр. 13. Оптимальный отвод от вторичной обмотки выходного трансформатора к громкоговорителям $Гр_3$, $Гр_4$ и $Гр_5$ подбирают по максимальной неискаженной выходной мощности. В случае необходимости уменьшить чувствительность усилителя создают дополнительную цепь отрицательной обратной связи со вторичной обмотки выходного трансформатора на катод первой лампы через регулируемый резистор R_{10} и подбором его устанавливают уровень чувствительности усилителя. На рис. 33 приведена сквозная частотная характеристика усилителя при максимальной громкости и различных положениях регуляторов тембра.

САМОДЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Двухканальный усилитель

Усилитель низкой частоты, качественные показатели которого удовлетворяют любым требованиям радиолюбителя, имеет семь ламп, довольно сложную схему, три трансформатора, ряд дорогостоящих деталей. Для реализации всех электрических параметров он требует

сложную и дорогую акустическую систему и поэтому может быть рекомендован лишь тем радиолюбителям, которые хотят построить действительно высококачественную низкочастотную установку, не считаясь с затратами, и имеют для этого соответственные возможности.

Усилитель обеспечивает выходную мощность примерно 20 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений, не превышающем 1%, и при правильном выборе и изготовлении акустического агрегата реально воспроизводит частоты в диапазоне от 30 до 16 000 *гц*.

Оконечный каскад канала низших звуковых частот построен по двухтактно-параллельной схеме, где выходные лампы $Л_4$ и $Л_5$ по постоянному току включены последовательно, а по переменному — параллельно. Принцип работы такого каскада поясняется эквивалентной схемой (рис. 34), из которой видно, что обе лампы и два источника питания образуют симметричный мост. В одну из диагоналей моста включено сопротивление нагрузки. Благодаря этому постоянная составляющая анодного тока протекает по замкнутой цепи через плечи моста и не ответвляется в его диагональ, т. е. в нагрузку.

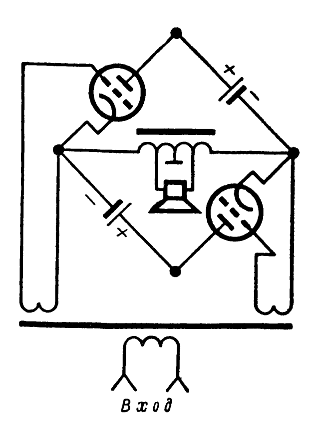


Рис. 34. Эквивалентная схема двухтактно-параллельного каскада.

С принципиальной точки зрения заземлять среднюю точку нагрузки совершенно не обязательно, однако в описываемой конструкции такое заземление сделано по чисто конструктивным соображениям из-за того, что, как и в обычном двухтактном каскаде, на сетки оконечных ламп подаются противофазные напряжения от однофазного заземленного источника.

Эта схема выгодно отличается от обычной двухтактной еще и тем, что, во-первых, при параллельном включении ламп (по переменному току) общее внутреннее сопротивление каскада оказывается в 4 раза меньше, чем у обычного двухтактного, и, во-вторых, отсутствие постоянной составляющей в цепи нагрузки не уменьшает анодного напряжения ламп и позволяет снимать неискаженный сигнал даже при самых больших амплитудах (разумеется, в пределах прямолинейного участка характеристики ламп).

Наконец, поскольку нагрузка включена между катодами ламп, оконечный каскад работает в режиме катодного повторителя, благодаря чему он оказывается охваченным глубокой отрицательной обратной связью, резко снижающей коэффициент нелинейных искажений. Кроме того, низкое выходное сопротивление, присущее катодным повторителям, дает возможность неискаженно воспроизводить самые низшие частоты при сравнительно небольшой индуктивности согласующего трансформатора и расширить полосу воспроизведения в сторону высших частот.

Двухтактно-параллельная схема, как и всякая другая, имеет свои недостатки. Один из них заключается в необходимости иметь в усилителе два отдельных выпрямителя для питания оконечных ламп и

еще один выпрямитель для питания остальных ламп усилителя. Второй недостаток состоит в том, что для нормальной работы оконечного каскада необходимо напряжение раскачки порядка 50—80 *в*.

Однако эти недостатки не столь существенны, как кажется на первый взгляд. Что касается выпрямителей, то хотя их и нужно сделать три вместо одного, схема и конструкция их усложняются очень незначительно. Это объясняется низкими требованиями к фильтрации выпрямленного напряжения для симметричной схемы, что позволяет применить простейшую однополупериодную схему выпрямления с одним конденсатором фильтра на его выходе. Выпрямитель

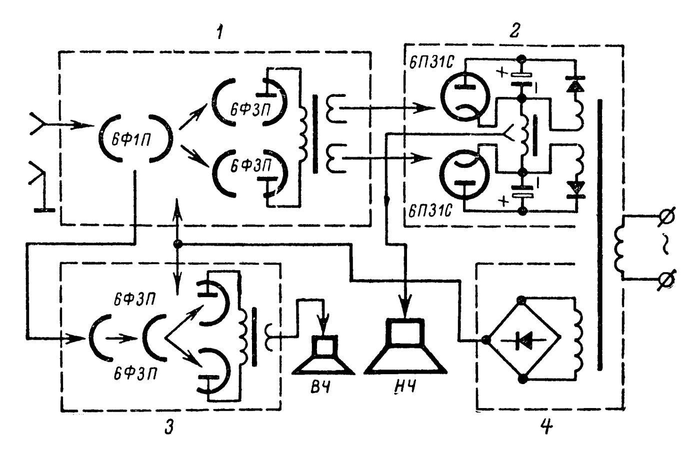


Рис. 35. Блок-схема двухканального усилителя.

1 — предварительный усилитель; *2* — оконечный усилитель с выпрямителями; *3* — усилитель высокочастотного канала; *4* — блок питания.

для предварительных каскадов благодаря незначительному потребляемому току может быть выполнен по любой схеме.

Таким образом, применение двухтактно-параллельной схемы ненамного усложнит схему и конструкцию по сравнению с обычным широкополосным высококачественным усилителем.

Из блок-схемы (рис. 35) видно, что усилитель состоит из четырех самостоятельных блоков. Первый из них, который можно условно назвать предварительным усилителем, представляет собой стандартный усилитель низкой частоты. Второй блок включает в себя оконечный двухтактно-параллельный каскад с собственными выпрямителями; третий блок — также стандартный усилитель низкой частоты, используемый в качестве высокочастотного канала; четвертый блок — обычный выпрямитель для питания остальных каскадов установки.

При таком решении усилитель (хотя и выглядит довольно сложно) прост в сборке и регулировке, поскольку каждый из его блоков может быть собран и отрегулирован самостоятельно.

В качестве предварительного усилителя (рис. 36) использована конструкция, описанная в предыдущей главе. Если не нагружать этот усилитель на громкоговорители и соответственно перемотать вторич-

ные обмотки его выходного трансформатора, то на них можно получить неискаженные выходные напряжения, необходимые для раскачки ламп оконечного двухтактно-параллельного каскада.

Фазоинвертор, каскады предварительного усиления, цепи регулирования громкости и тембра остаются без изменений. Единственное отличие усилителя состоит в том, что часть сигнала с регулятора тембра высших частот ответвляется в высокочастотный канал.

Так как для получения минимальных нелинейных искажений важна очень высокая степень симметрии напряжений раскачки ламп оконечного каскада, вторичные обмотки трансформатора Tp_2 нагружены на регулировочные потенциометры R_{54} и R_{55}.

Оконечный двухтактно-параллельный каскад собран на лампах 6П31С и отдает 25 *вт* неискаженной выходной мощности. Если ограничиться выходной мощностью 15 *вт*, то можно использовать лампы 6П3С, а при мощности 10 *вт* — лампы 6П14П. Во всех этих случаях схема оконечного каскада и согласующий автотрансформатор не изменятся, но при регулировке усилителя нужно будет подобрать оптимальные отводы для подключения катодов оконечных ламп. Кроме того, потребуется подобрать наиболее подходящий отвод у вторичных обмоток трансформатора Tp_2.

Выпрямители для оконечного каскада выполнены по мостовой схеме на селеновых столбиках АВС-80-260. Вместо них можно применить диоды Д7Ж, собранные по мостовой схеме, что на качестве работы усилителя не отразится.

Нужно обратить особое внимание на то, что конденсаторы фильтра этих выпрямителей не соединены с шасси усилителя и их необходимо прикреплять к шасси через изолирующие прокладки, а при работе с усилителем соблюдать осторожность.

Усилитель высокочастотного канала собран на двух лампах 6Ф3П. Пентодные части этих ламп использованы в двухтактном оконечном каскаде, а триодные выполняют функции предварительного усилителя и фазоинвертора.

Выходная неискаженная мощность высокочастотного канала — около 4 *вт*; полоса пропускания — от 5 000 до 20 000 *гц*. Оконечный каскад собран по ультралинейной схеме и охвачен отрицательной обратной связью по току, что позволяет получить указанную мощность при коэффициенте нелинейных искажений примерно 0,6—0,9%.

На входе усилителя имеется регулятор уровня (потенциометр R_{27}), функцию которого выполняют регулятор тембра высших частот основного (низкочастотного) канала. В качестве дополнительного регулятора тембра, работающего на частотах 10 000—14 000 *гц*, использован потенциометр R_4. Необходимость в дополнительной регулировке возникает при усилении звукового сопровождения телевизионных передач или передач УКВ ЧМ радиостанций.

Потенциометр R_1 нужен для первоначальной регулировки усилителя (для установления необходимого соотношения мощностей низкочастотного и высокочастотного каналов).

Блок питания усилителя состоит из трансформатора питания, фильтров для питания анодных цепей и балансировочных потенциометров в цепях питания нитей накала всех ламп для борьбы с фоном переменного тока.

Выпрямитель для каскадов предварительного усиления собран по мостовой схеме на диодах Д7Ж. Фильтр выпрямителя — П-образный с дросселем $Дp_1$. Электролитические конденсаторы C_{30}—C_{36},

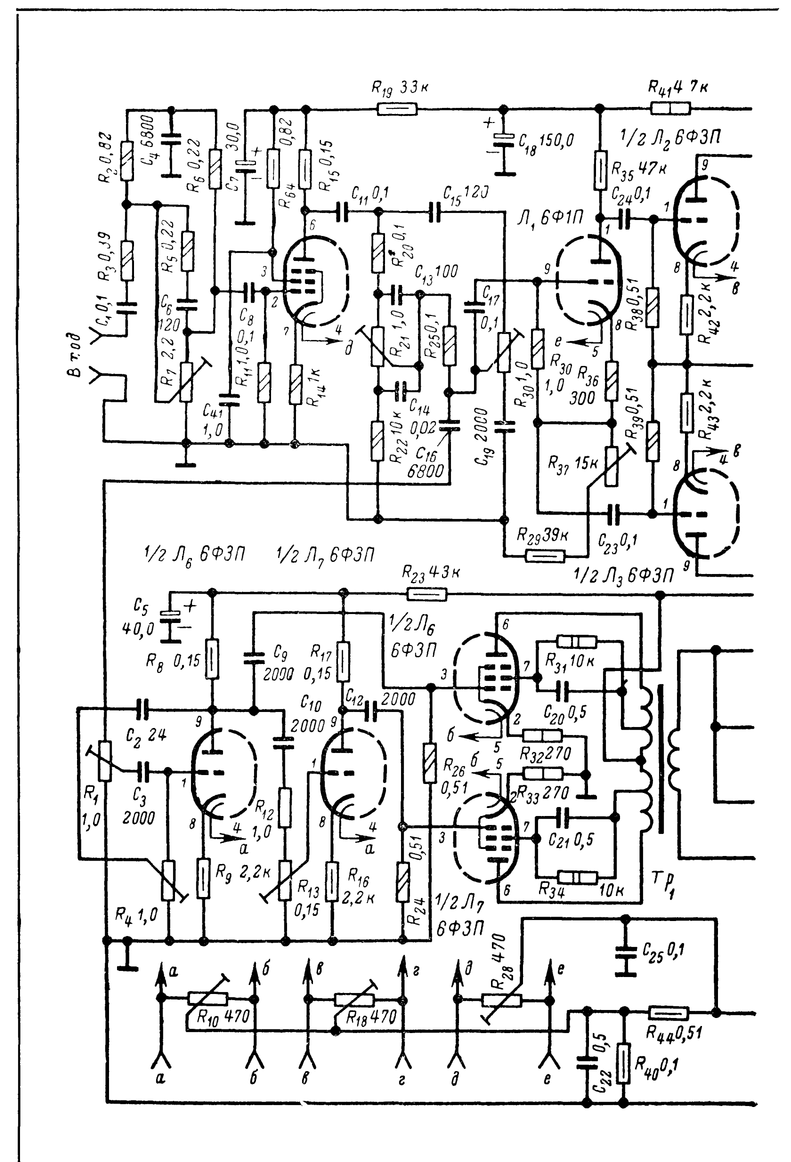
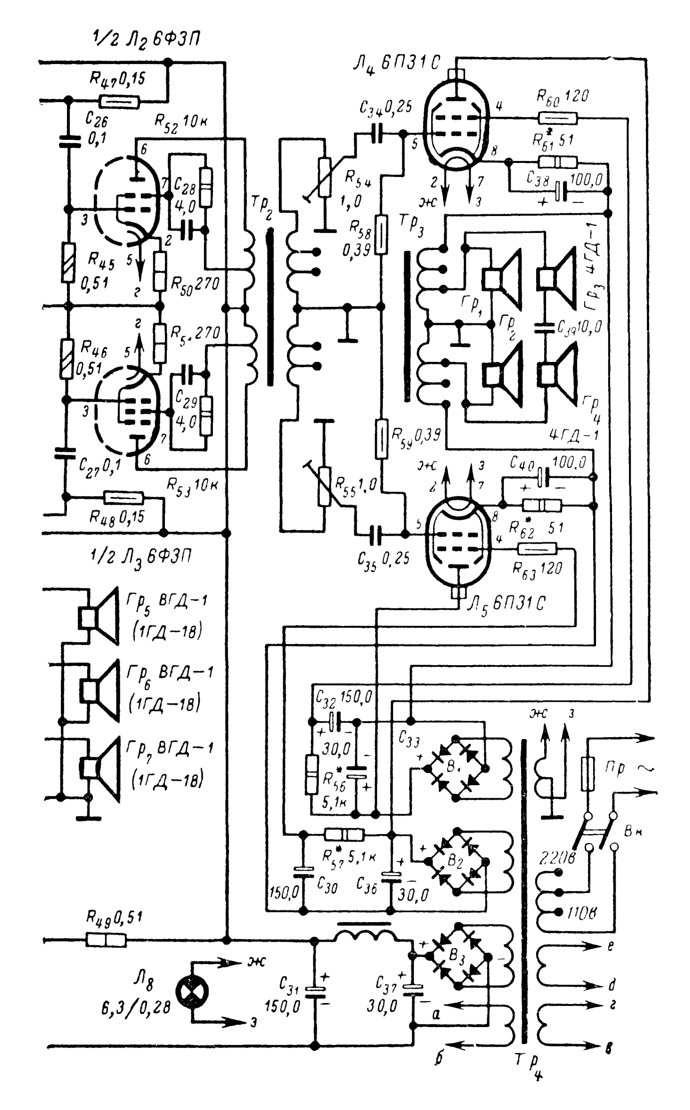


Рис. 36. Принципиальная схема



двухканального усилителя.

C_{31}—C_{37} и C_{32}—C_{33}, сдвоенные по 150+30 *мкф* на рабочее напряжение 350 (или 300) *в*.

Так как данный усилитель рассчитан на квалифицированных радиолюбителей, здесь не приведены его конструктивные данные, эскизы шасси и т. п. Все эти вопросы радиолюбитель сможет разрешить сам в соответствии со своими возможностями, задачами и вкусом.

Если усилитель будет служить самостоятельным устройством, то его целесообразней выполнить в виде отдельной конструкции. В качестве примера на рис. 37 показан вариант внешнего оформления, примененный автором. В других случаях усилитель может входить в состав радиокомбайна или быть встроенным в акустический агрегат.

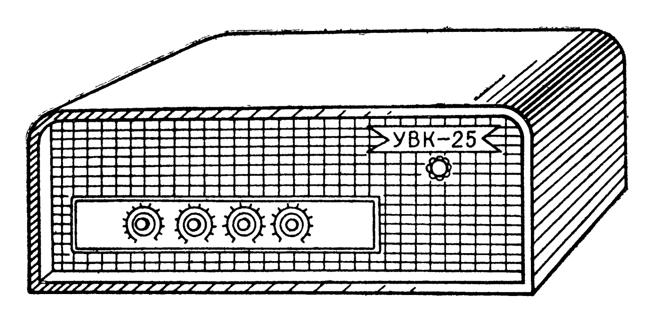


Рис. 37. Вариант внешнего оформления усилителя.

При изготовлении усилителя особое внимание нужно обратить на монтаж входных цепей для предотвращения и снижения фона. Кроме того, нужно обратить внимание на исключение магнитных наводок от трансформатора питания, а также электростатических наводок от оконечных ламп и согласующего автотрансформатора, применить при монтаже рациональное расположение узлов и ламп, вводя при необходимости магнитную и статическую экранировку.

Налаживание усилителя начинают с проверки правильности монтажа. Затем при вынутых лампах проверяют работу всех выпрямителей и напряжения накала на всех ламповых панельках. После этого вставляют в панельки лампы оконечного двухтактного каскада и налаживают его.

Для этого в разрыв анодной цепи каждой из ламп включают миллиамперметр со шкалой на 100—200 *ма*, отпаивают выводы первичной обмотки трансформатора $Тр_2$ и к одной из его секций подключают высокоомный выход звукового генератора. Громкоговорители подключают к любым (обязательно симметричным!) отводам от согласующего автотрансформатора $Тр_3$, а параллельно одному из низкочастотных громкоговорителей ($Гр_1$ или $Гр_2$) подключают осциллограф и ламповый вольтметр. Потенциометры R_{54} и R_{55} устанавливают в положение, при котором на управляющих сетках оконечных ламп отсутствует сигнал.

Включив усилитель, наблюдают за показаниями миллиамперметров в анодных цепях оконечных ламп. Нормальный ток покоя каждой из ламп 6П31С должен быть порядка 70—75 *ма*. Если эта величина отличается от указанной, то необходимо подобрать сопро-

тивления резисторов R_{61} и R_{62}. Особое внимание нужно обратить на симметрию токов покоя обеих ламп.

После этого нужно проверить токи покоя экранирующих сеток этих же ламп. Для этого миллиамперметры включают в разрывы цепей экранирующих сеток между выводами ламповых панелек и резисторами R_{60} и R_{63}. Нормальный ток должен лежать в пределах 6—8 *ма*. При отклонении тока от указанной величины или при асимметрии токов двух ламп необходимо подобрать сопротивления резисторов R_{56} и R_{57}. Затем нужно вновь проверить и при необходимости отрегулировать анодные токи ламп, а после этого еще раз проверить токи экранирующих сеток. Возможно, что эту регулировку придется повторить 4—5 раз, пока токи анодов ламп и их экранирующих сеток не окажутся в пределах указанных норм и будут одинаковыми для обеих ламп.

После этого приступают к динамической регулировке каскада, оставив в анодных цепях ламп включенные миллиамперметры. Для этого от звукового генератора подают такое напряжение частоты 1 000 *гц*, чтобы на крайних выводах вторичных обмоток трансформатора $Тр_2$ по отношению к шасси было напряжение порядка 75—100 *в*. Затем начинают вращать ручку потенциометра R_{54}, наблюдая за формой выходного напряжения по осциллографу. При появлении искажений синусоиды уменьшают снимаемый с потенциометра R_{54} сигнал, вращая его ручку в противоположную сторону до полного исчезновения искажений, после чего то же самое проделывают с потенциометром R_{55}. Когда оба потенциометра будут установлены в положение, соответствующее максимальному неискаженному сигналу, замеряют переменное напряжение на громкоговорителях, записывают, каким номерам выводов вторичной обмотки согласующего автотрансформатора это напряжение соответствует, и после этого (предварительно выключив усилитель) переключают громкоговорители к другой симметричной паре отводов согласующего автотрансформатора.

Таким же способом определяют максимальное неискаженное выходное напряжение на всех парах отводов и затем выбирают среди них те, для которых это напряжение оказывается наибольшим. К этим отводам припаивают громкоговорители, и всю дальнейшую регулировку ведут, уже не изменяя выбранного оптимального коэффициента трансформации.

Следующий этап регулировки заключается в получении наименьшего коэффициента нелинейных искажений. Для этого параллельно осциллографу и электронному вольтметру подключают измеритель нелинейных искажений и, откалибровав его на частоте 1 000 *гц*, начинают вращать ручку потенциометра R_{54} в сторону увеличения сигнала на оконечной лампе. Если при этом коэффициент нелинейных искажений будет уменьшаться, то ручку поворачивают до получения минимальных искажений. Если же при вращении оси потенциометра искажения будут увеличиваться, а не уменьшаться, то, оставив потенциометр в исходном положении, начинают вращать потенциометр R_{55} в сторону увеличения сигнала до получения минимальных искажений. Добившись минимальных искажений и еще раз тщательно отбалансировав измеритель, определяют величину нелинейных искажений, и если она превышает 1%, то необходимо ручки обоих потенциометров (R_{54} и R_{55}) повернуть на 10—15° в сторону уменьшения сигнала и вновь отбалансировать их по минимуму искажений указанным способом.

Нужно предупредить, что такой результат может быть получен лишь в том случае, когда сигнал, снимаемый с выхода звукового генератора, имеет коэффициент нелинейных искажений заведомо меньше 1%. В противном случае искажения на выходе усилителя также будут выше этого значения при любой выходной мощности и самой тщательной регулировке.

Перед регулировкой усилителя нужно обязательно проверить собственные нелинейные искажения звукового генератора и убедиться, что они составляют менее 1%.

Когда коэффициент нелинейных искажений на выходе усилителя будет доведен до 1%, нужно проверить выходную мощность. Суммарная мощность на выходе усилителя должна быть не ниже 20 *вт*. При этой мощности анодные токи ламп оконечного каскада не должны превышать 80 *ма*, а токи экранирующих сеток — 10 *ма*. При больших токах придется снова подбирать сопротивления резисторов автоматического смещения и в цепях экранирующих сеток. Если же указанные величины будут получены, регулировку оконечного усилителя можно считать законченной.

В противном случае необходимо выяснить причину неудовлетворительной работы каскада. Чаще всего это может быть вызвано несимметричным подключением катодов ламп к обмотке выходного автотрансформатора или недостаточным числом витков, подключенных к катодам ламп. Возможны также ошибки в монтаже или плохое качество ламп.

Следует проверить также уровень фона оконечного каскада. Для этого звуковой генератор отключают от первичной обмотки трансформатора $Тр_2$ и определяют напряжение фона на громкоговорителях, которое должно быть в 2 000—3 000 раз меньше номинального выходного напряжения.

Если уровень фона окажется намного больше этого уровня, нужно попробовать поменять местами выводы одной из повышающих обмоток выпрямителей оконечных ламп.

По окончании регулировки оконечного каскада вставляют в панельки остальные лампы усилителя и производят дальнейшую регулировку. Поскольку этот этап налаживания ничем не отличается от регулировки обычных низкочастотных усилителей, на нем останавливаться не будем.

Следует лишь иметь в виду, что при регулировке высокочастотного канала потенциометром R_{13} устанавливают такое напряжение на его выходе, чтобы при мощности основного (низкочастотного) канала на частоте 1 000 *гц*, равной 15 *вт*, и самой широкой полосе пропускания мощность высокочастотного канала на частоте 7 000 *гц* составляла 3 *вт* при неизменном входном напряжении на усилителе.

Выбор акустической системы для этого усилителя также будет зависеть от индивидуальных требований и возможностей радиолюбителя. Можно рекомендовать двадцативаттную широкополосную систему (см. стр. 51). Но тогда для предотвращения искажений в максимальном режиме за номинальную мощность усилителя следует принять 12—15 *вт* и под эту мощность отрегулировать чувствительность усилителя на частоте 1 000 *гц*. Можно, конечно, применить и любую другую акустическую систему с соответствующей номинальной мощностью и полосой пропускания, но во всех случаях необходимо строго придерживаться приведенных ранее указаний и рекомендаций.

Трансформаторы и дроссели, примененные в усилителе, имеют следующие данные:

Трансформатор $Тр_1$. Сечение среднего стержня сердечника — от 4 до 6 *см*². Первичная обмотка содержит 900+300+300+900 витков провода ПЭЛ 0,15, вторичная — 60 витков провода ПЭЛ 0,8. Для оптимального согласования с громкоговорителями эту обмотку надо сделать с двумя-тремя отводами и при регулировке выбрать наиболее подходящий из них. Сердечник трансформатора нужно собирать из тщательно изолированных друг от друга окисной пленкой или, еще лучше, тонким слоем лака пластин толщиной 0,2 или, в крайнем случае, 0,35 *мм*. Собирать сердечник нужно вперекрышку. Стяжные болты лучше применить латунные и обязательно надеть на них бумажные изоляционные трубочки, а под гайки подложить текстолитовые или картонные шайбы. Еще лучше собрать сердечник трансформатора из пермаллоя.

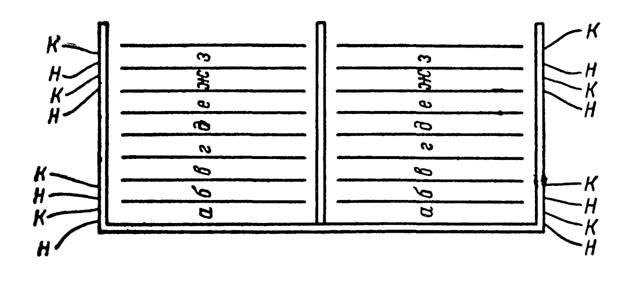


Рис. 38. Расположение секций на каркасе выходного автотрансформатора и схема их включения.

Трансформатор $Тр_2$ изготавливают в соответствии с описанием, приведенным на стр. 13, но в качестве вторичных наматывают две обмотки по 600 витков провода ПЭЛ 0,15—0,2 *мм*. При этом в каждой из них желательно сделать по 3—4 отвода.

Выходной автотрансформатор $Тр_3$ наматывают на сердечнике сечением 8—10 *см*². Секции *а*, *б*, *в* и *г* каждой половины обмотки имеют по 30 витков провода ПЭЛ 1,0, секция *д* — 400 витков провода ПЭЛ 0,27—0,35 и секции *е*, *ж* и *з* — по 150 витков того же провода. Расположение секций на каркасе и их соединение показаны на рис. 38.

Трансформатор питания может быть любой конструкции. Можно, например, применить трансформатор от любого телевизора, использовав каркас, сердечник и первичную (сетевую) обмотку, а повышающие обмотки намотать заново, предварительно пересчитав их таким образом, чтобы выпрямители давали на выходе напряжение около 250—270 *в*.

Дроссель фильтра — стандартный от любого телевизора, рассчитанный на номинальный ток 150—200 *ма*. В крайнем случае его наматывают самостоятельно по данным такого фабричного дросселя.

Стереофонический усилитель

Рассматриваемый ниже усилитель является модернизацией стереофонического усилителя, описанного в первом издании этой книги. После выхода первого издания редакция МРБ получила много писем, в которых радиолюбители просили подробнее ответить на ряд вопросов, касающихся этого усилителя.

Учитывая растущий интерес радиолюбителей к стереофоническим устройствам, автор существенно модернизировал описываемый усилитель, улучшив ряд его параметров, устранив некоторые недостатки.

Новый усилитель имеет лучшие характеристики, значительно более стабилен в работе, повышена надежность усилителя за счет более рациональной конструкции и снижения коэффициента использования некоторых ламп и деталей. Склонная к микрофонному эффекту лампа 6Ф1П в первом каскаде заменена двойным триодом типа 6Н1П, что позволило одновременно уменьшить уровень собственного фона усилителя и отказаться от необходимости индивидуального отбора экземпляра лампы для первого каскада. Несколько изменен характер тонкомпенсации за счет более тщательного подбора элементов его схемы и одновременно введено кнопочное переключение регистров («Концерт» и «Интим»), позволяющее наиболее точно выбирать вид частотной характеристики в зависимости от характера и содержания передач и условий воспроизведения.

Новый усилитель также является двухканальным и состоит из двух совершенно идентичных каналов, каждый из которых представляет собой высококачественный двухтактный усилитель со следующими параметрами: неискаженная выходная мощность 10 *вт*; коэффициент нелинейных искажений при выходной мощности 10 *вт* на частотах 400, 1 000 и 5 000 *гц* — 1%; электрическая полоса пропускания на эквиваленте громкоговорителя 20—30 000 *гц*; неравномерность частотной характеристики при средних положениях регуляторов тембра и максимальной громкости в указанной полосе частот (в положении «Концерт») — не более 2 *дб*, уровень фона и собственных шумов — минус 66 *дб*. Регулировка тембра — раздельная по низким и высоким частотам, глубина регулировки 14 *дб*; регулировка громкости — плавная, частотно-зависимая.

Тонкомпенсация осуществлена по схеме, приведенной на рис. 17,*г*, однако параметры элементов схемы несколько изменены и, кроме того, введена коммутация в высокочастотное звено частотного фильтра.

При нажатии кнопки «Концерт» в тонкомпенсирующую цепь включены как низкочастотное звено фильтра (элементы R_1, R_2 и C_1 на принципиальной схеме), так и высокочастотное звено (R_3 и C_2). В этом случае при уменьшении громкости изменение частотной характеристики усилителя происходит по закону кривых равной громкости и изменения тембра звучания на слух не наблюдается.

При нажатии кнопки «Интим» высокочастотное звено корректирующего фильтра схемы тонкомпенсации отключается, в результате чего при уменьшении громкости частотная характеристика усилителя выравнивается только на низких частотах, а на частотах свыше

1 000 *гц* вместе с уменьшением громкости происходит прогрессивный завал характеристики, т. е. на малых уровнях в передаче исчезают высокие частоты, причем уменьшается не только уровень высоких частот, но и постепенно смещается граничная частота полосы пропускания усилителя. На слух это приводит к тому, что с понижением громкости звук вначале становится несколько смягченным, затем «мягким» и, наконец, при очень малой громкости приглушенным (как принято говорить, «интимным»).

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 39. Она начинается с коммутирующего устройства, собранного на кнопочном переключателе от телевизора «Темп-6». Переключатель состоит из двух независимых групп по три секции в каждой группе. Три секции левой группы (на принципиальной схеме верхние) осуществляют коррекцию частотных характеристик, а также включение и выключение усилителя. Усилитель автоматически включается в сеть при нажатии кнопки «Концерт» или «Интим». Для выключения усилителя нужно нажать крайнюю левую кнопку — «Выкл».

Кнопки правой (нижней по схеме) группы коммутируют входные гнезда усилителя. При нажатии кнопок «Левый» или «Правый» соответствующий вход подключается к своему усилителю; другой канал в это время оказывается отключенным от входного гнезда и не работает.

При нажатии кнопки «Стерео» левый вход оказывается подключенным к одному усилителю, правый вход — к другому, но между собой каналы полностью разобщены.

При одновременном нажатии кнопок «Правый» и «Левый» оба входа оказываются запараллеленными и усилитель превращается в одноканальный монофонический с суммарной выходной мощностью 20 *вт*.

С выхода цепей коммутации сигналы НЧ поступают на тонкомпенсированные регуляторы громкости R_4 и R'_4, управляемые одной ручкой, и далее — на управляющие сетки входных каскадов, собранных на триодах 6Н1П.

Между первым и вторым усилительными каскадами включена схема регулировки тембра, содержащая раздельные регуляторы верхних и нижних частот. Одноименные регуляторы обоих каналов собраны на сдвоенных потенциометрах, управляемых одной ручкой. Регуляторы тембра собраны по типовой схеме рис. 19, *б*, однако в данном усилителе величины элементов схемы несколько изменены и введены дополнительно два резистора — R_9 и R_{15}, с тем чтобы суммарная частотная характеристика усилителя соответствовала требуемой с учетом влияния цепей тонкомпенсации.

На выходе второго каскада включен регулятор стереобаланса. В отличие от схемы, примененной в предыдущей модели усилителя, выбрана схема потенциометрической регулировки уровня самого сигнала, а не коэффициента усиления каскада за счет отрицательной обратной связи, что позволило снизить нелинейные искажения, возникавшие в одном из каналов при крайнем положении регулятора стереобаланса, устранило шорохи при регулировке и значительно расширило пределы регулировки. В новой схеме, уменьшая величину резистора R_{20}, можно неограниченно менять соотношение уровней в каналах при вращении регулятора стереобаланса вплоть до полного запирания одного из каналов. При выбранном значении элементов схемы регулятор стереобаланса позволяет менять относительное усиление каналов на 20 *дб*.

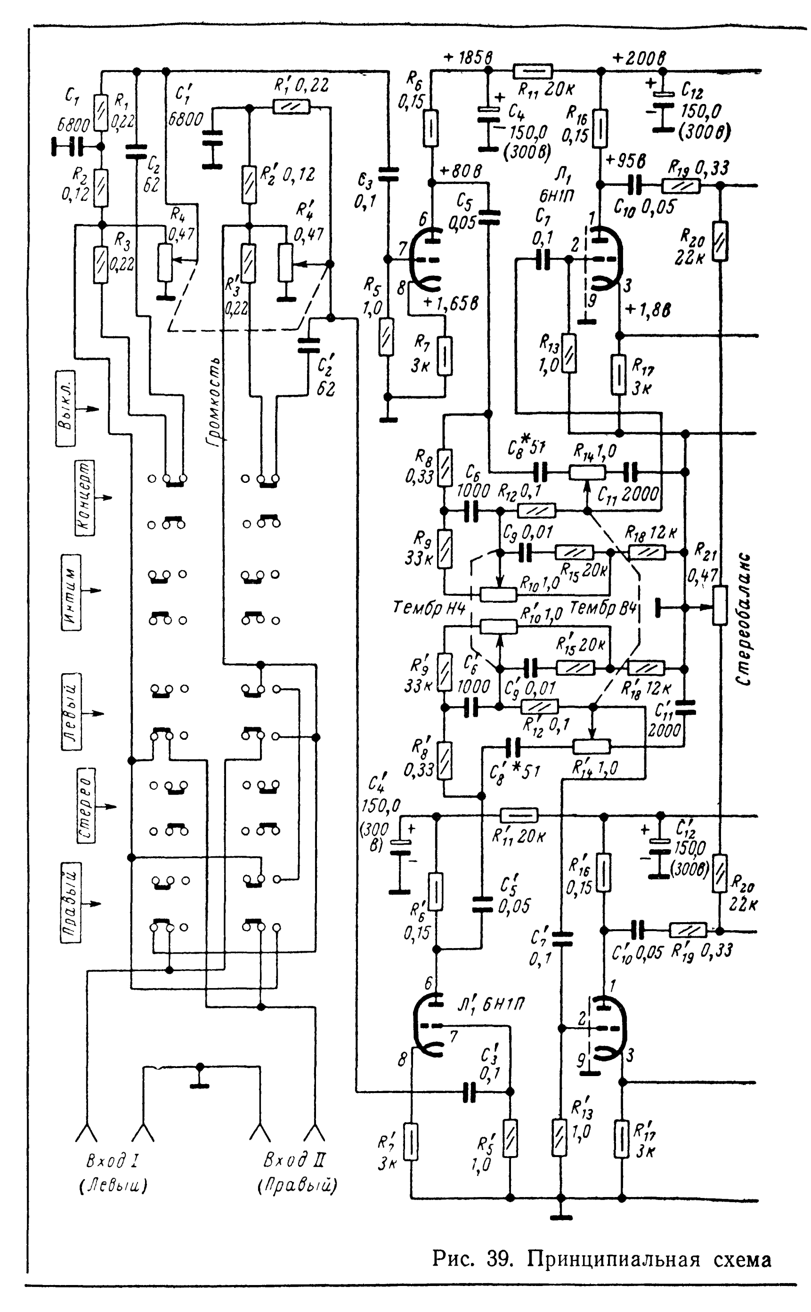
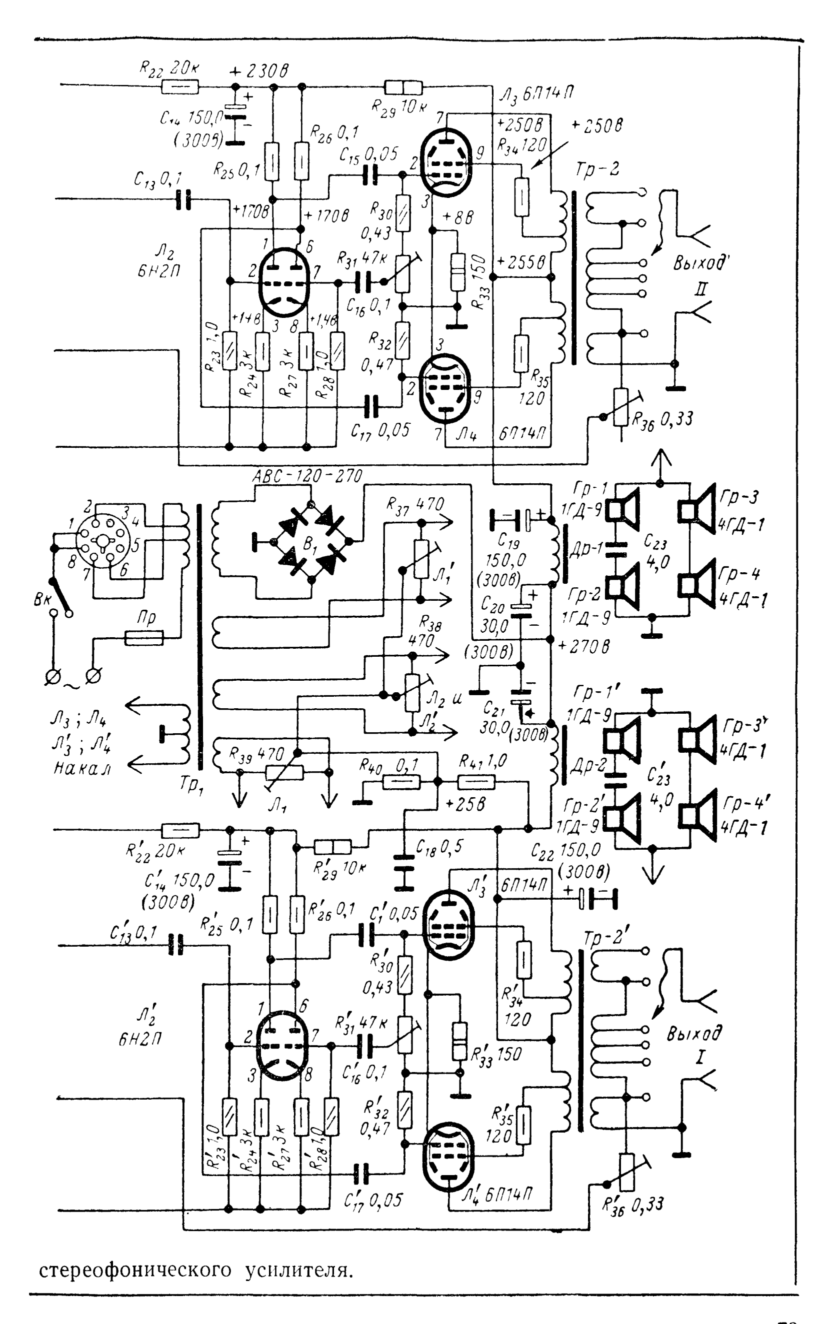


Рис. 39. Принципиальная схема



стереофонического усилителя.

Следующий каскад — фазоинверсный — собран на двойном триоде 6Н2П. Его схема приведена на рис. 6. Для упрощения схемы и экономии деталей делитель в цепи балансировки второго плеча инвертора одновременно выполняет функции утечки сетки одного из лучевых тетродов оконечного каскада.

Оконечный каскад двухтактный, собран по ультралинейной схеме на лампах типа 6П14П. Схема такого каскада рассматривалась выше (см. рис. 3, *б*). Таким образом, легко видеть, что весь усилитель очень просто компонуется из типовых каскадов, схемы которых подробно рассматривались в предыдущих главах.

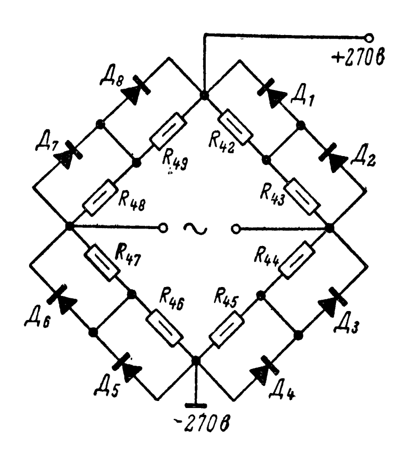


Рис. 40. Схема выпрямителя при использовании диодов серии Д7.

Питание обоих усилителей осуществляется от одного общего выпрямителя, собранного на селеновом мостике B_1 типа АВС-120-270. Впрочем, если радиолюбитель не имеет такого выпрямительного элемента, его с успехом можно заменить восемью диодами серии Д7 (например, Д7Г или Д7Ж). В этом случае выпрямитель собирают по схеме рис. 40, а все его элементы располагают на отдельной печатной плате, рисунок которой дан на рис. 41, а на рис. 42 показано расположение на плате элементов схемы. Согласующие резисторы R_{42}—R_{49} нужны для выравнивания напряжения на последовательно соединенных диодах. Сопротивления этих резисторов могут быть выбраны в пределах от 50 до 100 *ком*, однако все они обязательно должны быть одинаковыми.

Хотя выпрямитель в схеме один, фильтров выпрямителя два. Каждый из усилителей питается через свой фильтр, с тем чтобы полностью исключить пульсации анодного напряжения в одном канале при работе второго канала в режиме максимальной выходной мощности. Накал первых ламп в каждом канале питается от самостоятельной отдельной обмотки, вторые, фазоинверсные лампы обоих каналов питаются вместе от третьей отдельной накальной обмотки и, наконец, все четыре оконечные лампы питаются от четвертой отдельной обмотки.

Первые три накальные обмотки оторваны от «земли» и для исключения фона находятся под потенциалом +25 *в* относительно шасси. Каждая из них имеет свой балансировочный потенциометр, позволяющий при регулировке усилителя добиться минимально возможного уровня собственного фона. Накальная обмотка оконечных ламп имеет заземленную среднюю точку. Такая сложная на первый взгляд система накала ламп полностью оправдывает себя при изготовлении несерийных высококачественных усилителей, так как позволяет достигнуть уровня собственного фона, не превышающего — 70 *дб*.

Выходные трансформаторы в данном усилителе применены такие же, как и на рис. 4. Его моточные данные приведены на стр. 13.

В описываемой конструкции выходные трансформаторы помещены в алюминиевые статические экраны, а выводы всех обмоток распаяны на специальной гетинаксовой планке, являющейся одновременно днищем экрана. На шасси усилителя эти трансформаторы

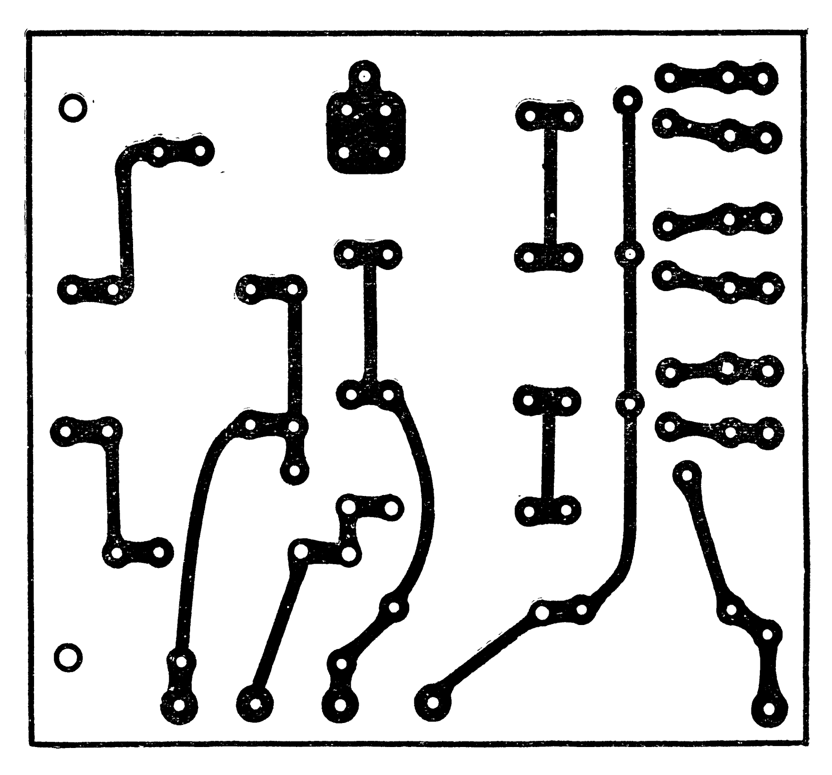


Рис. 41. Печатная плата выпрямителя (размеры 105×95).

расположены «лежа на боку» (рис. 48, 49) и притянуты к шасси ленточными железными хомутиками.

Разумеется, радиолюбителю нет необходимости точно копировать такую конструкцию трансформаторов. Вполне допустимо не применять статических экранов и крепить трансформаторы на шасси общепринятым способом с помощью «лапок», а от ламп и монтажа отгородить трансформаторы жестяными или алюминиевыми экранами-перегородками.

Конструкция усилителя предельно проста. Сами усилительные каналы выполнены на двух совершенно одинаковых печатных пла-

тах, рисунки которых в масштабе 1 : 2 приведены на рис. 43. На рис. 44 показано расположение всех элементов схемы на плате. Элементы схемы тонкомпенсации для снижения уровня фона вынесены на отдельную небольшую печатную плату и расположены не-

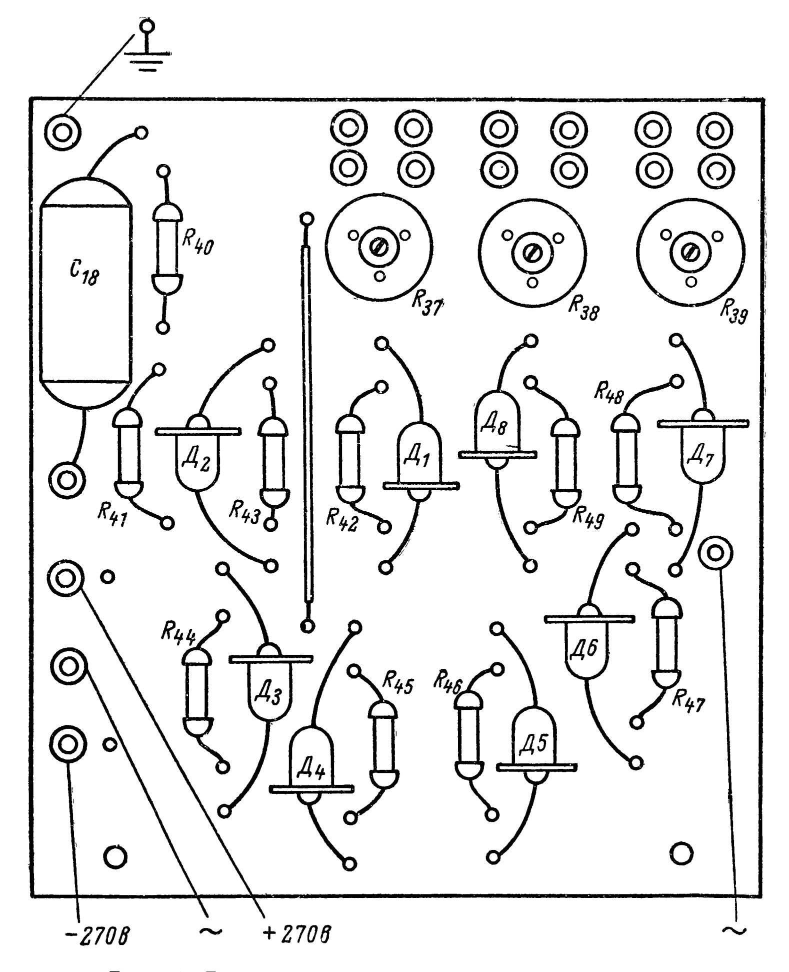


Рис. 42. Расположение деталей на плате выпрямителя.

посредственно около регуляторов громкости. Рисунок монтажа этой печатной платы (в натуральную величину) и расположение на ней схемных элементов показаны на рис. 45.

Обе печатные платы усилителей, плата схемы тонкомпенсации, печатная плата выпрямителя, выходные трансформаторы питания,

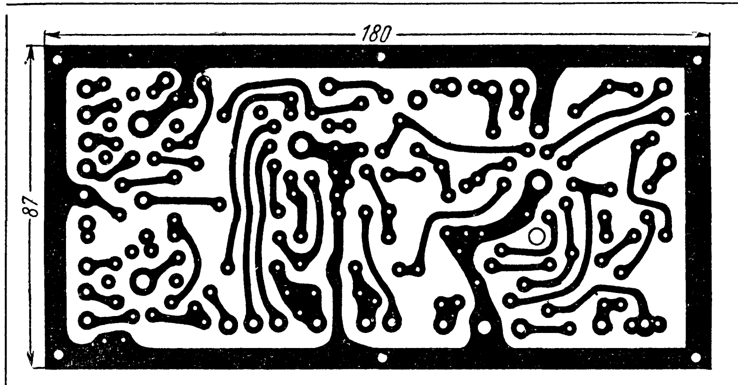


Рис. 43. Основная печатная плата усилителя.

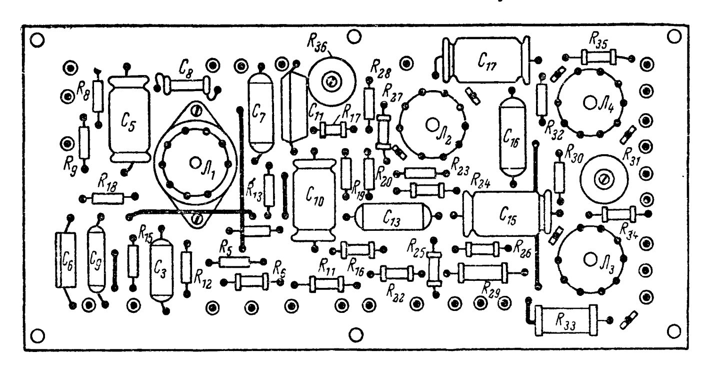


Рис. 44. Расположение деталей на основной плате усилителя.

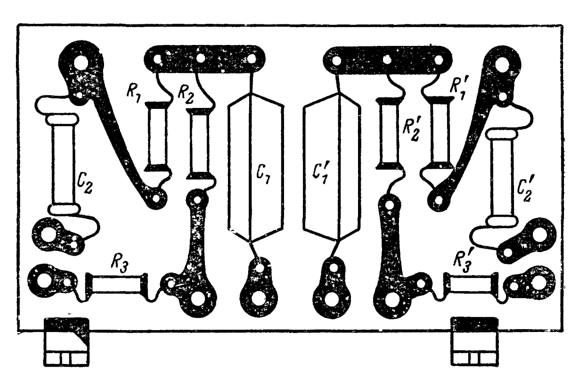


Рис. 45. Расположение деталей на плате схемы тонкомпенсации (на оба канала).

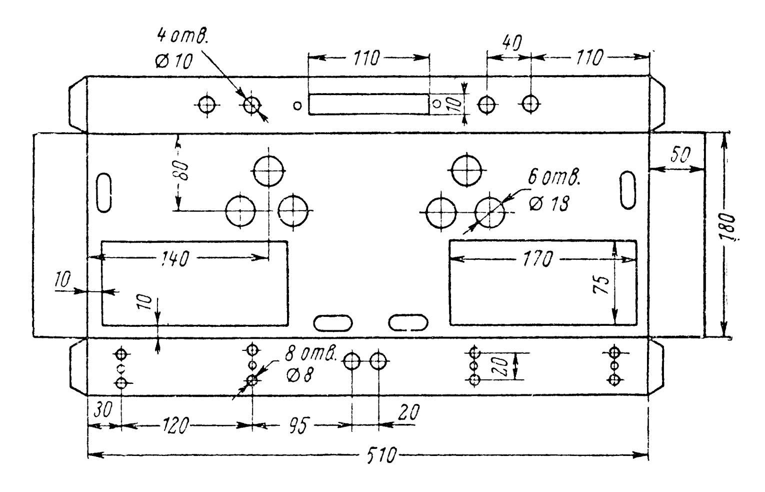


Рис. 46. Эскиз шасси усилителя. Разметка отверстий для трансформаторов, предохранителя и переключателя сети должна производиться радиолюбителем по фактическим размерам этих деталей.

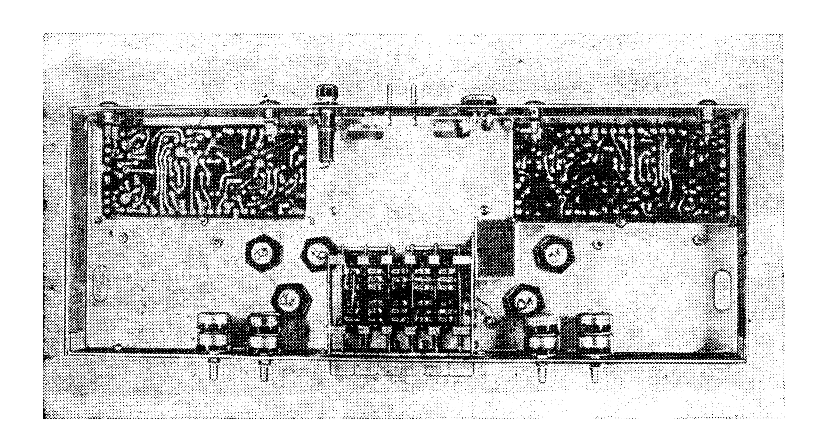


Рис. 47. Вид усилителя со стороны подвала шасси (без соединительного монтажа).

дроссели фильтра и все остальные детали располагаются на одном общем шасси, эскиз которого приведен на рис. 46. Расположение всех деталей ясно из рис. 47, 48, 49 и 50 и не требует пояснений.

Готовый усилитель размещается в специальном деревянном футляре. Внешний вид собранного усилителя показан на рис. 51.

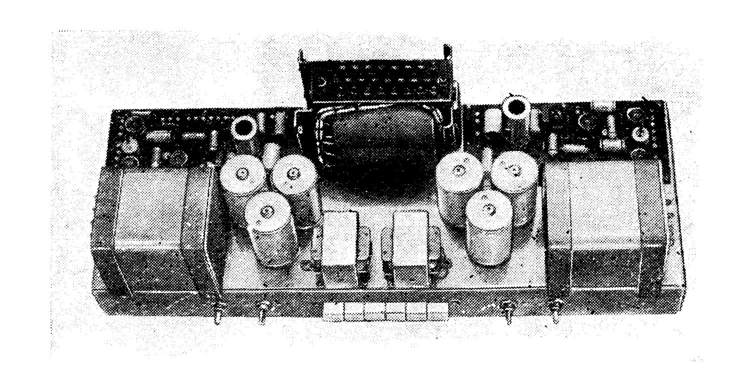


Рис. 48. Шасси усилителя (вид спереди).

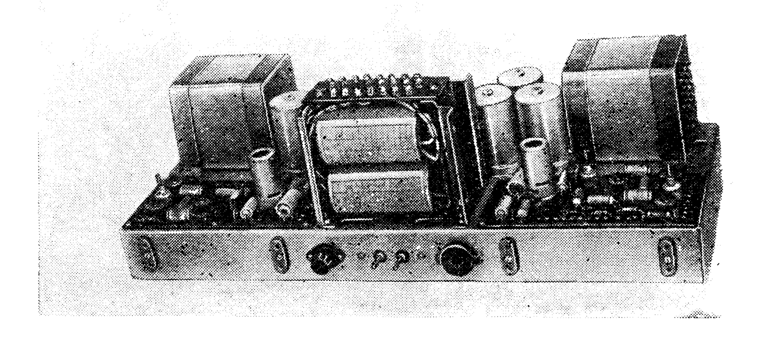


Рис. 49. Шасси усилителя (вид сзади).

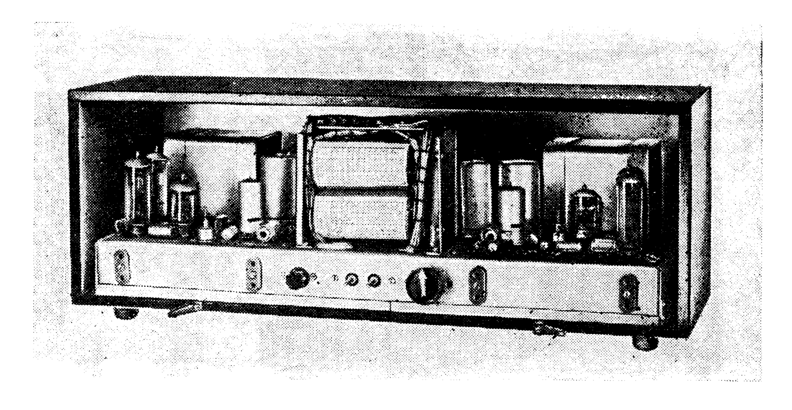


Рис. 50. Внешний вид собранного усилителя в футляре (вид сзади).

Акустическая система для усилителя состоит из двух совершенно одинаковых вертикальных звуковых колонок, содержащих по два громкоговорителя типа 4ГД-1 и по два громкоговорителя типа 1ГД-9 (либо, в крайнем случае, 1ГД-18). Внешний вид колонок показан на рис. 52, а расположение громкоговорителей — на рис. 53. Конструкция звуковой колонки и отражательной доски приведена в приложении. Футляр звуковой колонки, состоящий из крышки, двух стенок и дна, собирается из клееной березовой фанеры на хорошем казеиновом клее и затем фанеруется строганой фанерой толщиной 0,8 *мм* и покрывается лаком.

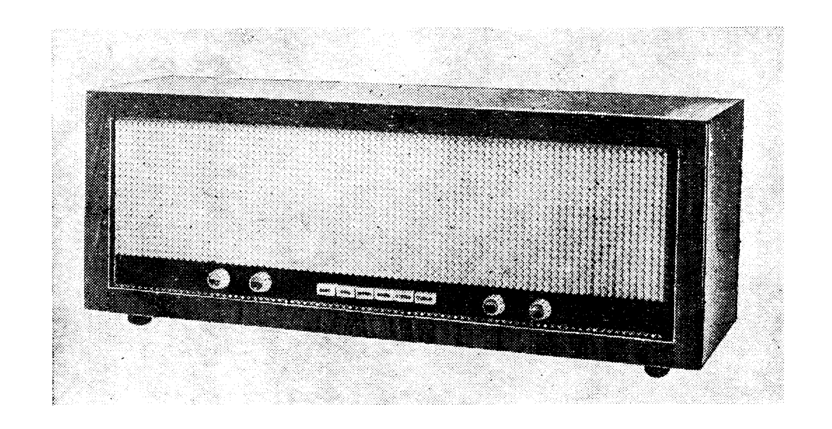


Рис. 51. Внешний вид собранного усилителя в футляре (вид спереди).

Задний торец футляра закрашивается нитрокраской. Брусок верхний и два боковых изготовляют из сосновых досок, а для ножек футляра берут бук. Отражательная доска собрана из брусков музыкальной ели, скленных между собой, как указано на стр. 42. Толщина окончательно обработанной доски должна лежать в пределах 25—30 *мм*. В собранном футляре доска нигде не должна касаться стенок или днища футляра, поэтому ее торцы необходимо обклеить либо тонкой (1,5—2 *мм*) листовой резиной, либо сукном или фетром.

Детали, использованные в усилителе, в большинстве своем фабричные, от широко распространенных радиоприемников и телевизоров.

Если радиолюбитель не сможет приобрести их в магазинах, то наверняка они окажутся в любом телевизионном ателье.

Трансформатор питания использован от нового унифицированного телевизора типа УНТ, выпускаемого под очень многими названиями («Рубин-106», «Огонек» и др.). Он не подвергается никаким переделкам и перемоткам. И хотя номинальная мощность этого трансформатора превышает требуемую для усилителя, мы рекомендуем применить его, так как в дальнейшем радиолюбитель сможет по-

строить УКВ ЧМ приставку для приема стереофонических передач, которая будет входить в комплект усилителя и питаться от его трансформатора. При отсутствии такого трансформатора радиолюбитель может изготовить самостоятельно другой трансформатор специально для данного усилителя, имеющий следующие данные: сердечник собран из пластин Ш-40, толщина пакета 50 *мм*. Сетевая обмотка состоит из 304 витков провода ПЭВ 0,74 и 222 витков провода ПЭВ 0,51. Повышающая обмотка имеет 710 витков провода ПЭВ 0,27. Обмотки канала первых ламп (6Н1П) каждого канала имеют по 15 витков провода ПЭВ 0,44, обмотка накала ламп 6Н2П обоих каналов имеет 15 витков провода ПЭВ 0,44 и обмотка накала всех ламп 6П14П — 17 витков провода ПЭВ 1,0.

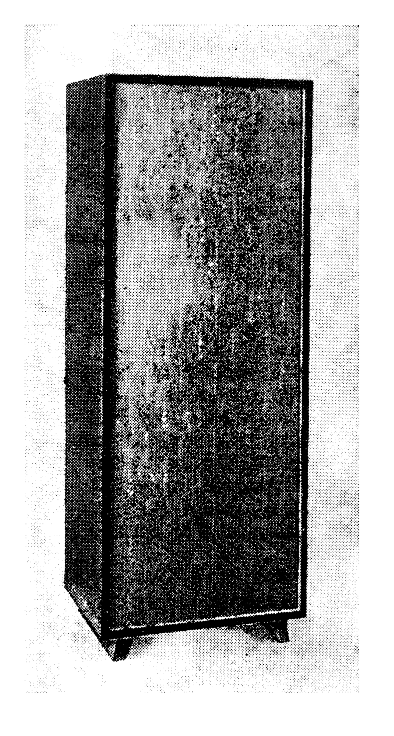


Рис. 52. Внешний вид звуковой колонки.

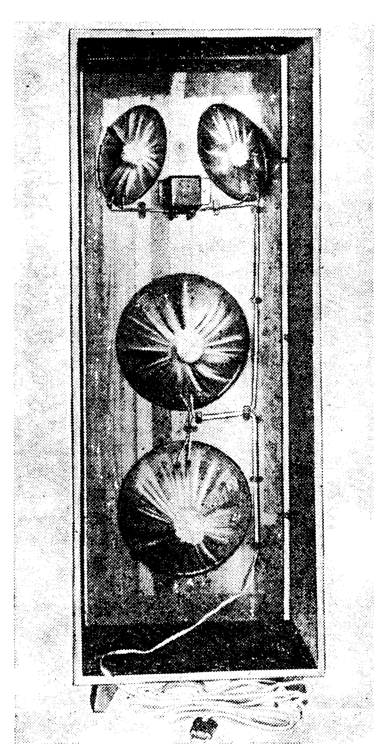


Рис. 53. Расположение громкоговорителей в звуковой колонке.

Дроссели фильтра могут быть применены любого типа, рассчитанные на ток не менее 100 *ма* каждый. Автор использовал малые дроссели от телевизора «Темп-6».

Все электролитические конденсаторы в усилителе — сдвоенные. C_4 и C_{12}, C'_4 и C'_{12}, C_{14} и C'_{14} емкостью 150+150 *мкф* на 250 *в*, C_{19} и C_{20}, C_{22} и C_{21} емкостью 150+30 *мкф* на 350 (или 300) *в*. Такие конденсаторы применяются в очень многих типах телевизоров и всегда имеются в продаже.

Сдвоенные потенциометры также стандартные типы «СП». Если таких потенциометров нет в продаже, их можно заменить потенциометрами от стереомагнитофона «Яуза-10».

Громкоговорители типа 4ГД-1 нужно подбирать попарно одинаковыми для обеих звуковых колонок, но внутри каждой колонки они должны быть обязательно с разными резонансными частотами: один с частотой 60 *гц*, а другой с частотой 80 *гц*. При приобретении динамиков нужно обязательно обратить на это внимание. Значение собственной частоты механического резонанса всегда указано как на упаковочной коробке, так и на корпусе громкоговорителя.

Громкоговорители 1ГД-9 или 1ГД-18, напротив, нужно выбирать с наибольшим значением собственной резонансной частоты, причем допустимо применение всех громкоговорителей с одной и той же резонансной частотой (например, 140 *гц*).

К самодельным деталям в первую очередь следует отнести печатные платы. Их изготовление в домашних условиях не представляет особого труда. На кусок фольгированного гетинакса со стороны фольги через копировальную бумагу переводят рисунок схемы (для этого фотографии всех плат, кроме платы усилителя на рис. 43, специально даны в книге в натуральную величину). Плата на рис. 43 из-за формата книги приведена не в натуральную величину, а в масштабе 1 : 2, поэтому ее рисунок нужно перефотографировать и потом увеличить при печати до размеров, приведенных на рисунке. Затем любой нитрокраской закрашивают рисунок монтажа в соответствии с чертежом. Когда краска полностью высохнет, плату погружают на 2—3 *ч* в раствор хлорного железа, который нужно периодически перемешивать. После того как все незакрашенные места фольги окажутся вытравленными, плату промывают в чистой горячей воде, просушивают, а затем смывают краску ацетоном или растворителем. Наконец, в плате просверливают все необходимые отверстия, зачищают плату со стороны фольги мелкой шкуркой (эту операцию нужно делать довольно осторожно, чтобы не повредить токопроводящие дорожки фольги) и расклепывают в нужных местах пустотелые заклепки.

Шасси усилителя — сварное, из миллиметровой оцинкованной стали. Вместо сварки радиолюбитель вполне может применить клепку или скрепить смежные боковые стенки винтами. Эскиз-выкройка шасси приведен на рис. 46. Мы рекомендуем при изготовлении шасси сначала перечертить эскиз на ватман в натуральную величину и по нему делать разметку на стальной заготовке: это поможет избежать возможных ошибок и брака.

Передняя декоративная доска самого усилителя автором сделана из алюминиевой плиты толщиной 4 *мм*. На ее лицевой стороне профрезерованы вертикальные и горизонтальные канавки прямоугольного сечения, после чего плита отпескоструена и протравлена. Окончательно обработанная плита покрыта из пульверизатора защитной пленкой цапон-лака. Пескоструйной обработке плита может быть подвергнута не только в специальной камере, но и на любой ремонтной или строительной площадке в городе, где производят пескоструйную чистку гранитных стен и фундаментов домов. Можно, разуме-

ется, выполнить переднюю панель и любым другим способом и из других материалов: из дерева, пластиков, синтетических материалов. Здесь радиолюбителю представляются широкие возможности.

Заднюю стенку можно сделать либо из плотного картона или прессшпана, либо из тонкой фанеры. Помимо отверстий для входных и выходных гнезд, сетевого ввода, переключателя напряжения сети и предохранителя, по всей площади задней стенки необходимо вырубить пробойником вентиляционные отверстия диаметром не менее 10 *мм*.

Аналогичным образом делают и задние стенки для акустических агрегатов с той лишь разницей, что диаметр отверстий на них нужно делать не меньше 25 *мм*, а после пробивки отверстий следует заклеить стенку изнутри марлей, чтобы внутрь колонки не проникала пыль. Для этой же цели все громкоговорители помещают в марлевые мешочки, способ изготовления которых ясен из фотографии внутреннего вида колонки.

Регулировка усилителя производится следующим образом: прежде всего потенциометры балансировки фазоинвертора (R_{31} и R'_{31}) на печатных платах нужно установить в положение, при котором их движки заземлены, а потенциометры в цепи обратной связи (R_{36} и R'_{36}) — в положение наибольшего сопротивления. Ручку потенциометра стереобаланса, выведенную на переднюю панель шасси, устанавливают в среднее положение.

При вынутых лампах включают усилитель в сеть и проверяют исправность блока питания, наличие и значения выпрямленного напряжения на выходе обоих фильтров выпрямителя, значения напряжения накала на всех ламповых панелях, а также наличие напряжения +25 *в* на накальных обмотках первых и вторых ламп обоих усилителей относительно шасси.

При отсутствии какого-либо из напряжений или несоответствии его величины значениям, указанным на схеме, находят и устраняют причину неисправности. Следует помнить, что при самодельном трансформаторе питания, изготовленном по приведенным в описании данным, напряжение накала первых ламп должно быть несколько пониженным (5,9 *в* вместо 6,3 *в*), а на оконечных лампах — несколько повышенным (6,7 *в*, но не более!).

Убедившись в исправности блока питания, вставляют в усилитель все лампы, подключают к выходам обоих каналов громкоговорители, нажимают кнопку «Концерт» и одну из кнопок «Левый» или «Правый» и приступают к настройке соответствующего канала. Для этого регуляторы громкости и тембра устанавливают приблизительно в среднее положение, к управляющей сетке лампы $Л_3$ (6П14П) подключают соединенные параллельно электронный вольтметр и осциллограф (при этом необходимо убедиться, что осциллограф включен в режим большого входного сопротивления, а не 75 или 100 *ом*), а сигнал от звукового генератора с частотой 1 000 *гц* подают на сетку левого (по схеме) триода лампы $Л_2$. Напряжение этого сигнала устанавливают таким, чтобы на сетке лампы $Л_3$ получилось точно 5 *в*. При этом на осциллографе не должно наблюдаться никаких искажений синусоиды. При наличии даже малейших искажений необходимо тщательно проверить все соединения, положения всех ручек генератора и осциллографа и обязательно устранить причину искажений.

Далее, не трогая никаких регуляторов, переносят щуп вольтметра и осциллографа на управляющую сетку лампы $Л_4$ и, осторож-

но поворачивая ось потенциометра балансировки инвертора (R_{31}), доводят напряжение на сетке этой лампы также до 5 *в*.

Затем снова проверяют напряжение на сетке лампы $Л_3$. Если оно изменилось, например, стало 4,5 *в*, то увеличивают сигнал от звукового генератора настолько, чтобы напряжение на сетке этой лампы снова стало 5 *в*, и снова регулируют балансировку до тех пор, пока на сетках обеих оконечных ламп не окажутся одинаковые напряжения 5 *в*. Допустимыми считаются отклонения не более 0,05 *в*.

Следующий этап регулировки — получение минимального уровня фона. Для этого регуляторы громкости и тембра устанавливают в положение максимального усиления, регулятор стереобаланса — в среднее положение, входные гнезда замыкают накоротко перемычкой, подвал шасси закрывают стальным, жестяным или алюминиевым поддоном по всей площади основания, а ламповый милливольтметр (например, типа ЛВ-9 или МВЛ) подключают параллельно выходным гнездам настраиваемого канала (при подключенной звуковой колонке!).

Переключая постепенно вольтметр на более чувствительные шкалы, определяют напряжение фона. Для его снижения нужно сначала вращать ось потенциометра балансировки накала первой лампы данного канала (R_{37} или R_{39}) до получения минимального показания вольтметра. Затем точно так же регулируют потенциометр R_{38}. Если минимум получается в одном из крайних положений регулировочных потенциометров или если остаточное напряжение фона оказывается больше 5 *мв*, то необходимо сменить лампу 6Н1П на другую.

После этого нужно проверить оптимальность выбранного отвода вторичной обмотки выходного трансформатора. Для этого звуковую колонку поочередно подключают ко всем отводам и каждый раз постепенно увеличивают напряжение, подаваемое от звукового генератора на вход усилителя (частота 1 000 *гц*), до тех пор, пока на осциллографе, подключенном параллельно звуковой колонке, не появятся искажения синусоиды.

Тщательно замерив, при каком напряжении на выходе наступают искажения, записывают эту величину и номер отвода, которому это напряжение соответствует. Сравнив по окончании замеров полученные результаты, определяют, какому отводу соответствует наибольшее неискаженное выходное напряжение, и к этому отводу окончательно припаивают выходное гнездо. При регулировке второго канала оптимальный отвод обязательно должен оказаться под тем же номером. В противном случае нужно тщательно проверить правильность соединения отдельных секций вторичных обмоток между собой.

Дальше необходимо проверить правильность полярности цепи обратной связи. Для этого во включенном усилителе и при наличии на выходе номинального напряжения (6 *в* на частоте 1 000 *гц*) «на ходу» отпаивают провод, идущий от выходного трансформатора к потенциометру R_{36} регулировки глубины обратной связи. Если при отпаивании провода напряжение на выходе усилителя возрастет, значит, полярность обратной связи правильная. Если же при отпаивании провода выходное напряжение хотя бы немного уменьшится, значит, вместо отрицательной обратной связи имеет место положительная. В этом случае необходимо отсоединить от шасси один конец вторичной обмотки выходного трансформатора и заземлить другой, противоположный крайний вывод. Если это пришлось сделать, придется заново подобрать оптимальный отвод на громкоговорители.

По окончании этой операции устанавливают номинальную чувствительность усилителя. Для этого, убедившись, что провод цепи обратной связи припаян на место, подают на вход усилителя напряжение с частотой 1 000 *гц* величиной 200 *мв*, регуляторы громкости и тембра устанавливают в положение максимального усиления, регулятор стереобаланса — точно в среднее положение и после этого вращают ось потенциометра R_{36} до тех пор, пока выходное напряжение на громкоговорителях не понизится до 6 *в*. При этом на осциллографе, подключенном к выходным гнездам, не должно наблюдаться ни малейших искажений формы синусоиды.

На этом регулировка одного канала заканчивается. Второй канал регулируется точно так же, как и первый. Настоятельно рекомендуем радиолюбителям не пожалеть времени и по окончании регулировки второго канала еще раз тщательно повторить полностью регулировку обоих каналов. После этого все регулировочные потенциометры нужно закрасить в месте выхода оси густой нитрокраской, с тем чтобы при эксплуатации усилителя не произошло случайной разрегулировки.

В заключение нужно найти среднее положение регулятора стереобаланса. Для этого нажимают одновременно кнопки «Правый» и «Левый», подают на вход усилителя напряжение от 50 до 100 *мв* и, сравнивая выходные напряжения обоих каналов, находят такое положение ручки стереобаланса, при котсром эти напряжения будут одинаковыми. Это положение необходимо пометить какой-нибудь риской или точкой, поэтому эту регулировку удобнее проделать, когда усилитель будет вставлен в футляр и на его выведенные органы управления будут надеты ручки.

При вращении ручки стереобаланса из одного крайнего положения в другое относительное усиление каналов должно меняться на 50—80%.

Регулировку усилителя завершают снятием частотных характеристик. Для каждого канала их следует снять не меньше четырех. Первая характеристика должна соответствовать широкой полосе пропускания при максимальной громкости в положении «Концерт», вторая — узкой полосе пропускания и максимальной громкости в положении «Концерт», третья — широкой полосе пропускания и минимально возможной, но не равной нулю громкости в положении «Концерт» и, наконец, последняя — широкой полосе пропускания и минимально возможной громкости в положении «Интим».

Типовые частотные характеристики для всех указанных случаев приведены на рис. 54. Разумеется, что за счет разброса параметров деталей, особенно выходных трансформаторов, характеристики, полученные разными радиолюбителями, могут несколько отличаться от приведенных, однако характер их должен соответствовать указанным на рисунке.

Особенно важно, чтобы одноименные характеристики двух каналов были предельно идентичными. В случае отличия характеристики одного канала от характеристики другого радиолюбитель может путем подбора соответствующих схемных элементов скорректировать характеристику одного из каналов. Так, для увеличения подъема (или, наоборот, для его уменьшения) характеристики на высших частотах нужно увеличивать (или соответственно уменьшать) емкость конденсатора C_8. Величина подъема характеристики на низших частотах регулируется сопротивлением резистора R_8, глубина провала характеристики на частоте раздела (частота 1 000 *гц*) — сопротивлением резистора R_{18}. Для изменения частоты раздела нужно

изменять сопротивление резистора R_{12} и емкость конденсатора C_9. Подбирая величины этих элементов, нужно добиться, чтобы расхождения характеристик обоих каналов в крайних положениях регуляторов тембра не превышали 1 *дб*.

Чтобы избежать больших разбросов характеристик двух каналов, при постройке стереофонических усилителей нужно твердо придерживаться правила: пусть лучше применяемые резисторы и конденсаторы отличаются от указанных на схеме на 20%, но одноимен-

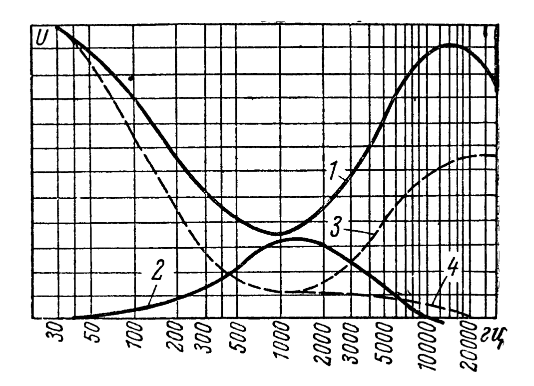


Рис. 54. Частотные характеристики одного канала усилителя, соответствующие следующим положениям регуляторов и переключателя.

1 — максимум громкости, наибольший подъем высоких и низких частот, «Концерт»; *2* — максимум громкости, наибольший завал высоких и низких частот, «Концерт»; *3* — минимально возможная громкость, максимальный подъем высоких и низких частот, «Концерт»; *4* — минимально возможная громкость, наибольший подъем высоких и низких частот, «Интим».

ные детали в разных каналах должны быть обязательно совершенно одинаковыми. Это значит, например, что сопротивление резистора нагрузки вместо указанного в схеме 100 *ком* может быть и 82, и 91, и 110 *ком*, но совершенно недопустимо применить в одном канале резистор сопротивлением 91 *ком*, а в другом 100 *ком*.

Если размеры комнаты позволяют разместить в ней небольшую консольную стереофоническую установку, то можно рекомендовать радиолюбителям на базе описанного усилителя создать конструкцию по типу показанной на рис. 55. Усилитель в ней размещен в центре футляра, причем на его шасси на дополнительном Г-образном угольнике из оцинкованного железа или алюминия смонтирован из фабричных деталей простой УКВ ЧМ приемник с полярным детектором, позволяющий принимать стереофонические передачи, которые в настоящее время регулярно ведутся опытной московской УКВ радиостанцией. На этот приемник можно принимать и обычные, монофонические передачи на УКВ. Слева и справа от усилителя расположены

одинаковые акустические камеры, в каждой из которых находятся по два громкоговорителя типа 4ГД-1 и по два громкоговорителя ВГД-1. При отсутствии последних вместо них допустимо использовать громкоговорители типов 1ГД-9 или 1ГД-18 либо специальные высокочастотные головки от акустической установки звукового кино (завода «Кинап»).

В верхней части футляра под откидными крышками расположен стереофонический проигрыватель (например, типа «Юбилейный стерео») и отсек для хранения пластинок. В конструкции, изготов-

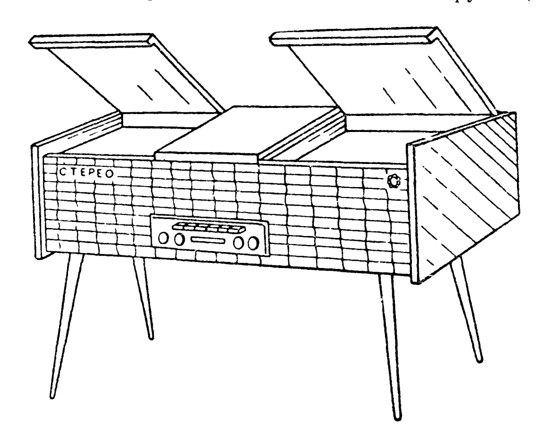


Рис. 55. Внешний вид консольной стереофонической установки.

ленной автором, этот отсек использован для установки стереомагнитофона «Яуза-10».

Следует предупредить радиолюбителей, что при такой конструкции нужно принять специальные меры для особо «мягкой» подвески проигрывателя, так как при большой выходной мощности и подъеме частотной характеристики в области 30—60 *гц* вся система склонна к самовозбуждению из-за механико-акустической обратной связи.

Для ее предотвращения, помимо использования стандартных пружин, имеющихся на плате проигрывателя, следует применить подвеску проигрывателя при помощи специального двухступенчатого демпфирующего устройства, состоящего из двух одинаковых поясов из мягкой микропористой резины (или губчатого поролона), к обеим сторонам которых — сверху и снизу — клеем АК-20 приклеены «окна» из миллиметрового алюминия. Один из поясов крепится к футляру в специально утопленной нише, к другому поясу присоединены крепежные пружины, имеющиеся на плате проигрывателя. Между поясами по периметру установлены 10—16 коротких мягких пружин. Устройство поясов и способ подвески проигрывателя с их помощью ясны из рис. 56 и не требуют пояснения.

Такая система подвески хотя и достаточно сложна, но зато позволяет полностью исключить обратную связь футляра со звукоснимателем даже при выходной мощности 15 *вт*.

Акустический объем установки разделен фанерными перегородками на две отдельные акустические камеры (правую и левую), не связанные между собой. Все стенки акустических камер оклеены изнутри листовым войлоком или фетром. Отражательная доска для

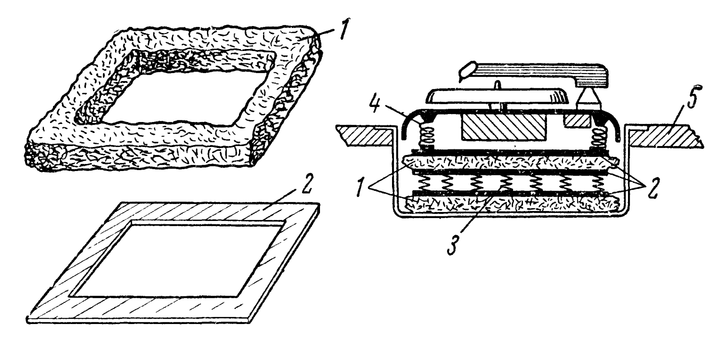


Рис. 56. Способ эластичной подвески платы проигрывателя в установке и детали демпфирующего устройства.

1 — пояс из микропористой резины или губчатого поролона; 2 — пояс из миллиметрового алюминия или дюралюминия; 3 — мягкие короткие амортизирующие пружины; 4 — фирменные крепежные пружины платы проигрывателя; 5 — деревянная верхняя панель отсека проигрывателя.

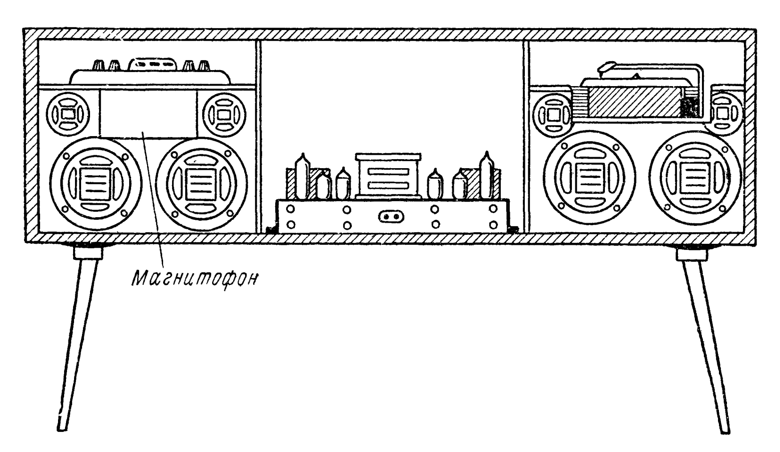


Рис. 57. Размещение узлов и деталей внутри консольной установки.

громкоговорителей каждого канала склеена из еловых брусков, как описано выше.

Точные размеры установки здесь не приводятся, поскольку принцип компоновки ясен из описания и рисунков, что же касается размеров, то они будут зависеть от габаритов узлов, примененных радиолюбителем, а также от размеров помещения и вкусов радиолюбителя.

Следует, однако, помнить, что для получения стереоэффекта необходимо, чтобы расстояние между внутренними громкоговорителями правого и левого каналов было не менее 1,25 *м*.

Расположение деталей и агрегатов внутри футляра установки ясно из рис. 57. Обязательно следует предусмотреть индикаторную лампочку включения усилителя, так как из-за весьма низкого уровня собственного фона усилителя можно не заметить, что усилитель включен, и оставить его на длительное время, что может привести к его повреждению.

Бестрансформаторный усилитель на транзисторах

Усилитель на транзисторах, принципиальная схема которого приведена на рис. 58, собран по бестрансформаторной схеме. Основное преимущество бестрансформаторного усилителя — отсутствие частотных искажений на границах усиливаемого диапазона частот.

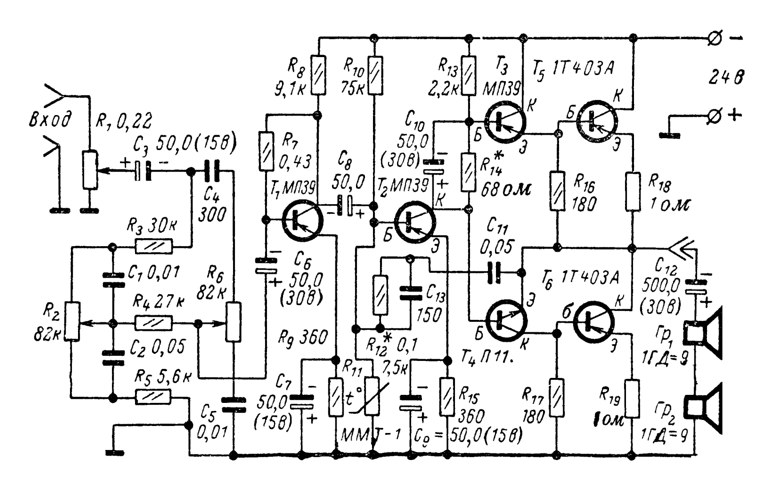


Рис. 58. Принципиальная схема бестрансформаторного усилителя на транзисторах.

В трансформаторных усилителях, как известно, частотная характеристика обязательно имеет завал как на низших, так и на высших частотах. Первый обусловлен падением реактивного сопротивления индуктивности первичной обмотки при понижении частоты, второй — индуктивностью рассеяния и ростом потерь в сердечнике при повышении частоты.

Поскольку в трансформаторных усилителях эти искажения принципиально неизбежны, конструкторы давно стремились к созданию бестрансформаторных схем. Решить эту задачу сравнительно просто оказалось возможным только после появления мощных транзисторов для оконечных каскадов Это объясняется тем, что внутреннее сопротивление мощных транзисторов не только соизмеримо с сопро-

тивлением нагрузки, но в ряде случаев даже много меньше него, что позволяет получить согласование нагрузки (громкоговорителя) с оконечными транзисторами без согласующего (выходного) трансформатора.

В описываемом усилителе двухтактный оконечный каскад собран на новых отечественных транзисторах типа 1Т-403А по бестрансформаторной схеме. По постоянному току транзисторы в этой схеме включены последовательно, а полезный сигнал снимается с их общей (средней) точки. Если пренебречь выходным сопротивлением выпрямителя для сигналов звуковых частот, то окажется, что по переменному току транзисторы включены параллельно, благодаря чему выходное сопротивление такой схемы будет вчетверо меньше сопротивления обычной двухтактной трансформаторной схемы на тех же транзисторах.

При последовательном включении оконечных транзисторов значительно усложняется задача получения противофазных напряжений раскачки, однако эту трудность можно легко преодолеть, используя в фазоинверторе два транзистора разной проводимости. Подобная схема приведена на рис. 8, *б*. Существо ее работы состоит в том, что через оба транзистора по цепи питания протекает один и тот же общий ток всегда в одном направлении и, кроме того, сигнал раскачки в одной и той же фазе одновременно подается на базы обоих транзисторов, однако в силу разной проводимости самих транзисторов это приводит к тому, что от одной и той же фазы сигнала один транзистор начинает отпираться, а другой — запираться, а поскольку суммарное напряжение на обоих оконечных транзисторах изменяться не может — они подключены непосредственно к выходу низкоомного источника питания, то при подведении напряжения раскачки начинает изменяться потенциал средней точки последовательно включенных оконечных транзисторов относительно полюсов выпрямителя. Вот этот-то изменяющийся потенциал и является выходным полезным сигналом. Легко видеть, что относительно средней точки транзисторов фазоинвертора сигналы на базах оконечных транзисторов всегда будут противофазными.

Анализируя работы бестрансформаторной схемы, нетрудно увидеть, что для получения максимально возможного неискаженного напряжения на выходе желательно полностью использовать линейный участок характеристики как оконечных, так и фазоинверсных транзисторов, а предельным случаем такого использования, как известно, является режим *B*.

Именно поэтому все усилители такого типа делают в режиме *B*. Разумеется, что при этом сохраняются и все энергетические преимущества этого класса усиления, т. е. усилитель получается предельно экономичным. Нелинейные искажения, вносимые усилителем в сигнал, в этой схеме определяются только нелинейностью характеристик самих транзисторов. Что касается оконечных транзисторов, то подбор идентичной пары не представляет никакого труда. Более того, практика показывает, что при использовании транзисторов 1Т-403А из одной партии нет необходимости в индивидуальном отборе экземпляров для оконечного каскада.

Значительно хуже обстоит дело с транзисторами фазоинверсного каскада. Это объясняется тем, что среди отечественных транзисторов широкого применения нет транзисторов с разным типом проводимости и одинаковыми электрическими параметрами и характеристиками.

Если же в фазоинверсном каскаде применены транзисторы с не-

одинаковыми характеристиками (и в первую очередь с неодинаковыми напряжениями запирания), то неизбежно оказывается, что в каком-то весьма небольшом диапазоне напряжений по обе стороны от точки покоя один транзистор *уже* закрылся, а второй *еще* не открылся. В результате при весьма малых уровнях раскачки каскад начинает вносить в усиливаемый сигнал недопустимо большие нелинейные искажения (до 50%). И хотя эти искажения наблюдаются только при очень малых сигналах (выходная мощность порядка единиц милливатт), эта особенность данных усилителей заставляет применять целый ряд сложных мер для ликвидации указанных искажений. К таким мерам в первую очередь относится очень глубокая отрицательная обратная связь, однако и она не может полностью устранить искажения на малых уровнях.

Радикальным способом избавления от указанного недостатка схемы можно считать введение на один из транзисторов фазоинверсного каскада некоторого начального смещения, что достигается разбивкой резистора нагрузки на два последовательно включенных резистора. В этом случае базы оконечных транзисторов оказываются подключенными к точкам с различными потенциалами, причем подбирая величину добавочного резистора, можно совершенно точно совместить точки открывания обоих транзисторов. Практически подбор добавочного резистора производят при регулировке усилителя по минимуму нелинейных искажений на малых уровнях сигнала.

Следует помнить, что при этом начальный ток (ток покоя) одного из транзисторов окажется не равным нулю, а так как каждый из фазоинверсных транзисторов гальванически соединен с соответствующим оконечным транзистором и определяет режим его работы, то будет не равен нулю и ток одного из оконечных транзисторов. Более того, при незначительном увеличении сопротивления добавочного резистора ток оконечного каскада растет очень резко, что нужно учесть при регулировке усилителя. Практически подбором величины дополнительного резистора уменьшают искажения лишь до тех пор, пока начальный ток оконечного каскада не достигнет 5% значения при максимальной мощности.

В описываемом усилителе таким разделенным резистором нагрузки являются резисторы R_{13} и R_{14}. Величина добавочного резистора R_{14} равна всего 68 *ом*, причем увеличение его значения до 120 *ом* приводит к возрастанию тока покоя усилителя с 10 до 75 *ма*. Эти цифры показывают, что значение резистора R_{14} весьма критично, поэтому подбор его величины нужно начинать обязательно с нулевого значения.

Из схемы видно, что оба оконечных транзистора, оба транзистора фазоинверсного каскада и транзистор последнего усилительного каскада (T_2, T_3, T_4, T_5 и T_6) являются гальванически связанными, поэтому при выбранных значениях всех элементов схемы правее транзистора T_2 (по принципиальной схеме) режим трех последних каскадов по существу определяется режимом базовой цепи транзистора T_2.

Это обстоятельство позволяет сравнительно легко осуществить в усилителе эффективную термостабилизацию. Для этой цели на месте резистора R_{11}, определяющего режим базовой цепи транзистора T_2 по постоянному току, применено термосопротивление типа ММТ-1, причем конструктивно этот резистор помещен непосредственно на радиаторе — теплоотводе транзистора T_5.

В этом случае при случайном возрастании тока оконечных транзисторов температура радиатора повышается, терморезистор нагревается, его сопротивление уменьшается, в результате чего рабочая точка транзистора T_2 смещается в сторону запирания, что в свою очередь приводит к уменьшению начального тока оконечных транзисторов.

Путем соответствующего выбора местоположения терморезистора на радиаторе оконечного транзистора и расстояния между терморезистором и поверхностью радиатора можно добиться отличной термокомпенсации усилителя в целом.

Транзистор первого каскада включен по обычной усилительной схеме с общим эмиттером. Единственная особенность этого каскада состоит в способе питания базовой цепи. В описываемом усилителе базовая цепь первого транзистора питается не с помощью делителя от общего источника питания, а через последовательный гасящий резистор от коллектора этого же транзистора. Такой способ питания позволяет получить меньшую зависимость нелинейных искажений от уровня входного сигнала за счет дополнительной цепи отрицательной обратной связи и создания режима «плавающей» рабочей точки.

Этим исчерпываются особенности описываемой схемы. Назначение резисторов R_{18} и R_{19} — предотвращение монотонного возрастания начального тока оконечных транзисторов вследствие внутреннего саморазогрева, цепь $R_{12}C_{11}$ — обычная цепь отрицательной обратной связи по напряжению, конденсатор C_{12} — разделительный в цепи нагрузки. От величины емкости этого конденсатора прямо зависит нижняя граница полосы пропускания усилителя. При емкости 500 *мкф* усилитель удовлетворительно воспроизводит частоты от 120 *гц*, при емкости 1 000 *мкф* — от 80 *гц*, при емкости 2 000 *мкф* — от 45—50 *гц*. Рабочее напряжение этого конденсатора должно быть не ниже 20 *в*.

Регуляторы громкости и тембра — обычного типа, они подробно описаны в предыдущих разделах.

По своим параметрам усилитель соответствует 2-му классу, чем определяется и область его применения. Такой усилитель хорош для настольного радиоприемника, радиолы или магнитолы 2-го класса, собранного полностью на транзисторах, для небатарейного транзисторного магнитофона, телевизора, электрофона.

Нецелесообразно его применение лишь в переносной аппаратуре с питанием от батарей, хотя усилитель и является очень экономичным: дело в том, что потребляемая им мощность прямо пропорциональна полезной выходной мощности, поэтому при выходной мощности 2 *вт* усилитель будет потреблять от батарей слишком большой ток (порядка 200—250 *ма*), что невыгодно, а если постоянно недоиспользовать номинальную выходную мощность усилителя, нет смысла делать именно такую конструкцию.

Для питания усилителя от сети придется сделать еще и стабилизированный выпрямитель. Схема такого выпрямителя приведена на рис. 59. Она не содержит никаких особенностей и обеспечивает на выходе стабильное напряжение 24 *в* при изменении внешнего тока нагрузки от нуля до 500 *ма*. Конструктивные данные и данные деталей выпрямителя будут приведены ниже.

Конструкция усилителя может быть любой, в зависимости от размеров и конструкции аппарата, в котором он будет использован. На рис. 60 и 61 показан внешний вид усилителя, использованного в телевизоре типа «Темп-6М» вместо существующего лампового. Ра-

зумеется, что для использования в проигрывателе или приемнике можно скомпоновать этот же усилитель иначе.

Собственно усилитель полностью смонтирован на одной небольшой печатной плате, рисунок которой в натуральную величину приведен на рис. 62. На рис. 63 показано расположение деталей на плате. Следует предупредить любителей, что рисунок платы предусматривает использование новых отечественных электролитических конденсаторов типа К-50-6, под размеры которых сделаны и отверстия в плате, однако при их отсутствии возможно использование конденсаторов типа ЭТО-1 без изменения рисунка платы и расположения отверстий. В этом случае все конденсаторы располагаются на плате отрицательным выводом вниз (к плате), как показано на рис. 61.

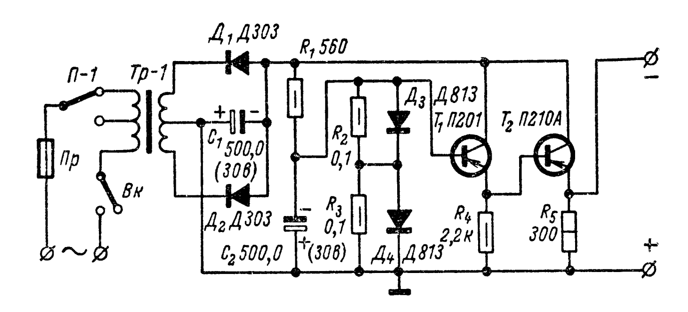


Рис. 59. Схема стабилизированного выпрямителя для бестрансформаторного усилителя.

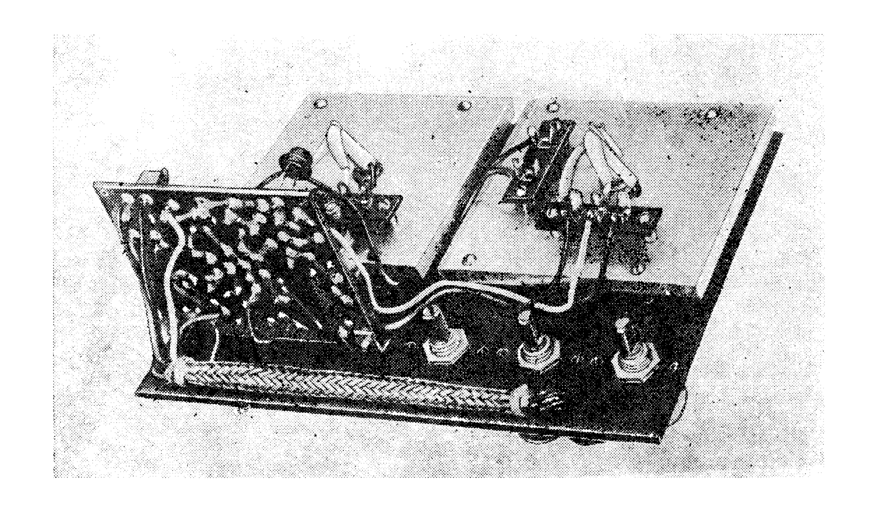


Рис. 60. Внешний вид бестрансформаторного усилителя со стороны печатной платы.

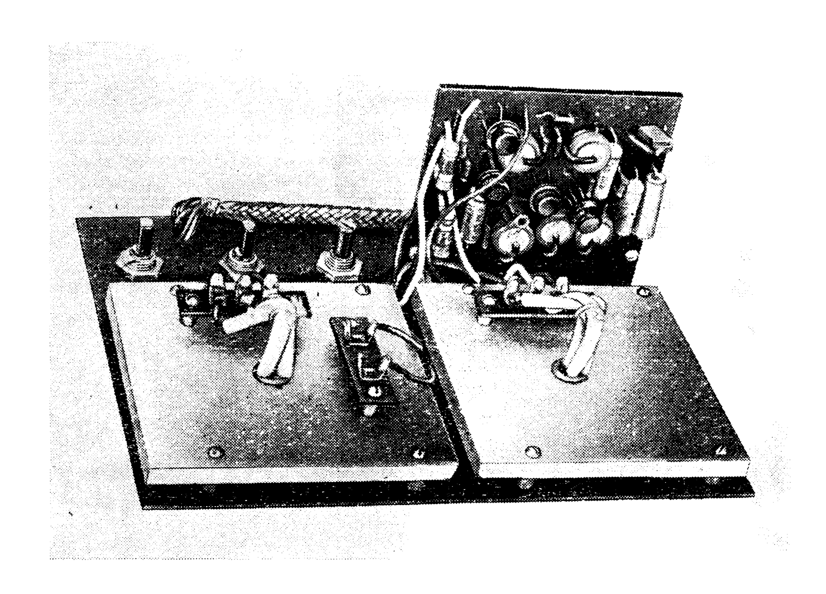


Рис. 61. Внешний вид бестрансформаторного усилителя со стороны оконечных транзисторов.

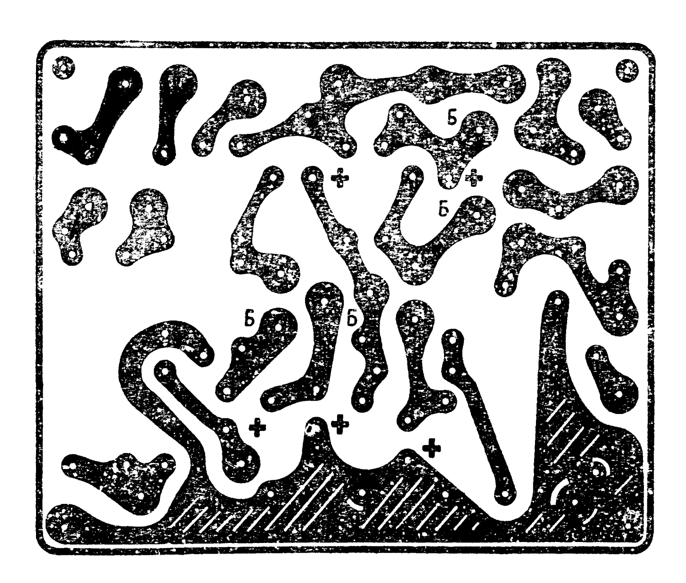


Рис. 62. Печатная плата усилителя.

Терморезистор R_{11} вынесен с платы усилителя и на отдельной планочке укреплен на радиаторе оконечного транзистора. Также вынесены на отдельную планку или скобу регуляторы громкости и тембра.

Разделительный конденсатор C_{12} расположен непосредственно на отражательной доске рядом с громкоговорителями. Резисторы R_{18} и R_{19} — проволочные с сопротивлением 1 *ом* каждый. Их можно намотать на резисторах типа ВС-0,25 любой величины, а можно исполь-

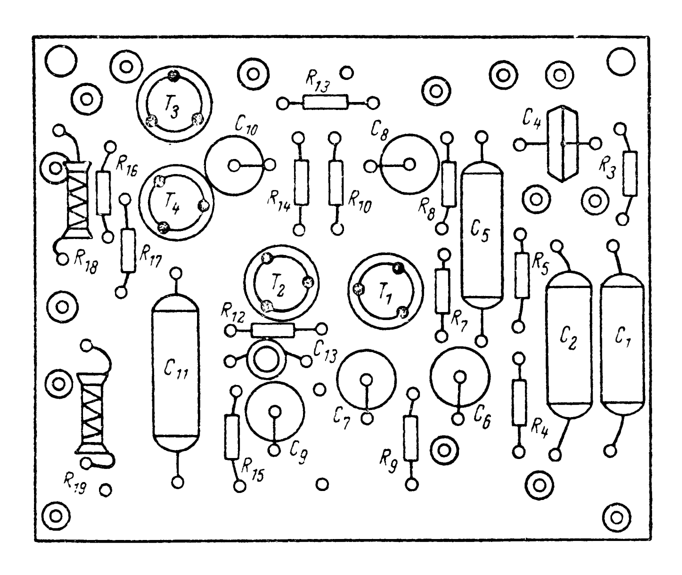


Рис. 63. Расположение деталей на печатной плате усилителя.

зовать готовые, применяемые в телевизорах марок «Темп-6», «Темп-7», «Темп-6М» и «Темп-7М».

Теплоотводящие радиаторы для оконечных транзисторов усилителя изготавливают из плиток алюминия или красной меди по размерам, указанным на рис. 64. Отверстия для транзисторов делают с минусовым допуском, так чтобы при комнатной температуре транзистор не входил в отверстие радиатора. Чистота обработки отверстия должна обеспечивать плотное прилегание всего корпуса транзистора к теплоотводу, а не нескольких его точек, поэтому лучше доводить диаметр отверстия до требуемого не сверлом, а разверткой.

Для установки транзистора в радиатор (теплоотвод) последний нужно нагреть до температуры 80—90° С, а транзистор, напротив, охладить. Затем быстро вставляют транзистор в отверстие так, чтобы его корпус оказался полностью утопленным в радиатор, и все вместе (радиатор со вставленным транзистором) опускают в холодную воду, чтобы предотвратить нагревание транзистора теплом радиатора. При

такой «горячей» посадке обеспечивается наилучший термоконтакт корпуса транзистора с радиатором и исключается перегрев транзисторов в процессе работы усилителя.

Конструкция выпрямителя не имеет никакого значения для работы усилителя и поэтому здесь не описывается. Радиолюбитель смонтирует выпрямитель применительно к его конкретной конструкции приемника, телевизора или магнитофона. Мы ограничимся лишь приведением данных его основных деталей.

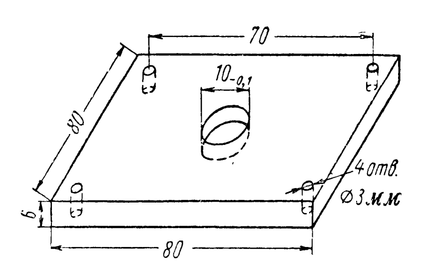


Рис. 64. Эскиз радиатора для оконечных транзисторов типа 1Т403А.

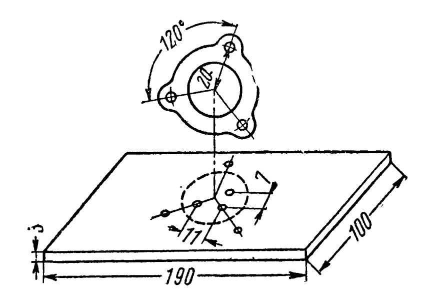


Рис. 65. Эскиз радиатора для транзистора типа П210А стабилизатора.

Силовой трансформатор намотан на сердечнике из пластин Ш-28, толщина набора 40 *мм*. Первичная обмотка содержит 430 витков провода ПЭЛ 0,47 плюс 320 витков провода ПЭЛ 0,47 и рассчитана на напряжения сети 127 и 220 *в*. Вторичная обмотка намотана проводом ПЭЛ 1,0 и содержит 55+55 витков. Мощный транзистор П210А размещен на отдельном радиаторе из красной меди (алюминия), размеры которого приведены на рис. 65. Электролитические конденсаторы C_1 и C_2 на схеме рис. 59 и C_{12} на схеме рис. 58— типа ЭГЦ на рабочее напряжение 30 *в*. Мощности рассеяния резисторов указаны на схемах. Все конденсаторы типа ЭТО — на рабочее напряжение 30 *в*.

Налаживание усилителя начинают с проверки правильности монтажа. После этого отпаивают провода питания усилителя от выпрямителя и проверяют работу выпрямителя. Напряжение на его выходе должно быть 24±1 *в*. При работе ненагруженного выпрямителя в течение любого времени не должно наблюдаться даже незначительного нагрева его транзисторов. Нагрев транзисторов свидетельствует о неисправности в схеме выпрямителя, которую нужно обязательно найти и устранить до регулировки усилителя.

Проверив выпрямитель, подключают к нему усилитель, причем в минусовой провод питания включают миллиамперметр со шкалой не менее 500 *ма*. Параллельно миллиамперметру обязательно нужно включить электролитический конденсатор емкостью 50—200 *мкф* во избежание самовозбуждения усилителя. Как уже указывалось выше, начинать регулировку усилителя нужно при нулевом значении резистора R_{14}, поэтому перед включением усилителя этот резистор нужно замкнуть накоротко проволочной перемычкой.

Первой регулировочной операцией является установление номинальной чувствительности усилителя. Для этого на его вход подают от звукового генератора сигнал с частотой 1 000 *гц* и амплитудой 200 *мв* и подбором сопротивления резистора R_{12} добиваются, чтобы напряжение на громкоговорителях (на обоих вместе!) стало равно 5,1 *в*. Это соответствует выходной мощности 2,0 *вт*. Регуляторы громкости и тембра при этом, разумеется, должны находиться в положении наибольшего усиления и максимальной полосы пропускания.

После этого проверяют максимальный (при мощности на выходе 2 *вт*) и минимальный (при отсутствии сигнала) потребляемый уси-

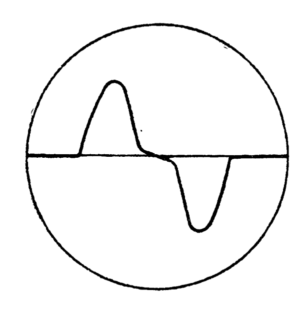


Рис. 66. Искажение типа «ступенька» при малых уровнях сигнала.

Рис. 67. Частотные характеристики усилителя.

1 — широкая полоса; 2 — узкая полоса.

лителем ток. Первый не должен ни при каких обстоятельствах превышать 300 *ма*, второй — единиц миллиампер. Затем параллельно выходу усилителя подключают осциллограф и измеритель нелинейных искажений и измеряют искажения при выходной мощности порядка 5—10 *мвт*. При замкнутом накоротко резисторе R_{14} искажения могут достигать очень больших значений, а кривая выходного напряжения вместо синусоиды будет иметь вид, показанный на рис. 66 (характерные искажения типа «ступенька»).

В этом случае, не увеличивая сигнала, снимают перемычку с резистора R_{14}, одновременно наблюдая за показанием миллиамперметра в цепи питания. Если ток при этом значительно возрастет (до 70—100 *ма*), то необходимо тут же выключить усилитель и на место резистора R_{14} впаять регулировочный потенциометр сопротивлением не более 100 *ом*, включенный реостатом. Подбор сопротивления этого резистора нужно обязательно начинать от нулевого значения. Увеличивать его можно лишь до тех пор, пока значение тока покоя усилителя (при отсутствии сигнала на входе) не достигнет 10—12 *ма*.

Опыт изготовления десяти усилителей показал, что сопротивление резистора R_{14}, равное 68 *ом*, является оптимальным для всех экземпляров усилителей. Для того чтобы радиолюбитель мог представлять допустимые пределы разброса параметров отдельных экземпляров усилителей, в табл. 4 приведены результаты измерения параметров пяти усилителей.

Таблица 4

Электрические параметры пяти образцов транзисторных усилителей

Параметры усилителя	Номер усилителя				
	1	2	3	4	5
Ток покоя, *ма*	15	10	17	12	11
Максимальный ток. *ма*, при $P_{вых}=2$ *вт*	185	175	182	180	180
Чувствительность по входу, *мв*	200	210	190	200	195
Коэффициент нелинейных искажений, %, при $P_{вых}=2$ *вт*	3,9	5,0	4,9	4,8	5,1
Коэффициент нелинейных искажений, %, при $P_{вых}=0,1$ *вт*	5,2	5,1	5,3	5,5	5,2
Глубина регулировки тембра на низких частотах, *дб*	От +8 до —10	От +10 до —12	От +8 до —12	От +7 до —7	От +8 до —8
Глубина регулировки тембра на высоких частотах, *дб*	От +12 до —10	От +10 до —10	От +10 до —12	От +12 до —10	От +10 до —14
Уровень собственного фона, *дб*	—50	—58	—55	—60	—58
Потребляемая мощность, *вт*, при $P_{вых}=2,0$ *вт*	4,45	4,2	4,4	4,3	4,3

В заключение можно указать, что в самом крайнем случае при отсутствии у радиолюбителя возможности приобрести транзисторы типа 1Т403А их можно заменить транзисторами типов П201—П203 или П214, однако в этом случае радиолюбителю придется самостоятельно заново подобрать значения резисторов R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14} и R_{15}, с тем чтобы параметры усилителя оказались такими же, как приведенные в табл. 4. Кроме того, при применении заменяющих транзисторов ток, потребляемый усилителем на частотах свыше 5 000 *гц*, будет при одной и той же мощности расти с частотой и на частоте 10 000 *гц* может оказаться почти вдвое больше, чем на частоте 1 000 *гц*.

Этот же усилитель без всяких переделок может отдать неискаженную мощность около 4 *вт*. Для этого вместо двух громкоговорителей 1ГД-9 или 1ГД-18 нужно включить один громкоговоритель типа 4ГД-1 или 5ГД-14 и также заново подобрать значения резисторов R_{10}—R_{15} по минимальным нелинейным искажениям и потребляемому току как при максимальной, так и при весьма малой выходной мощности. Разумеется, что в этом случае значения потребляемых токов будут иными, чем приведенные в табл. 4. Кроме того, необходимо будет увеличить поверхность охлаждения радиаторов оконечных транзисторов и мощного транзистора в стабилизаторе выпрямителя путем фрезерования канавок в радиаторах или увеличением их размеров. При любых обстоятельствах недопустим нагрев мощных транзисторов до температуры свыше 60° С.

Частотные характеристики усилителя при крайних положениях регуляторов тембра приведены на рис. 67.

Описанный усилитель можно использовать также в автомобильных приемниках, собранных на лампах. У таких приемников основным потребителем энергии является мощный оконечный каскад УНЧ, на долю которого приходится (вместе с накалом) почти $^2/_3$ общей потребляемой от аккумулятора энергии.

Так как ламповый приемник потребляет более 5 *а*, пользоваться им оказывается возможным только во время движения автомобиля, так как на стоянках эксплуатация приемника приводит к быстрому разряду аккумулятора.

Если из такого приемника исключить ламповый УНЧ и заменить его описанным выше, то наряду с резким снижением потребления энергии (свыше 60%) значительно улучшаются электроакустические данные приемника, так как описываемый усилитель имеет два раздельных регулятора тембра с большой глубиной регулировки и более широкую полосу пропускания.

При использовании усилителя в автомобильном приемнике следует несколько изменить сопротивления резисторов R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14} и R_{15}, поскольку автомобильный аккумулятор имеет напряжение 12 *в*. Кроме того, нагрузкой усилителя в машине будет служить один громкоговоритель 2ГД-3 (2ГД-7) вместо двух 1ГД-18. Сопротивления указанных резисторов подбирают при регулировке усилителя по получении наибольшей неискаженной мощности.

Следует учесть, что в автомобилях разных марок может быть заземлен либо положительный, либо отрицательный полюс батареи. В усилителе надо заземлить (соединить с «массой») одноименный полюс, причем в одном случае громкоговоритель окажется соединенным с положительным, а в другом — с отрицательным выводом питания. Здесь очень важно не перепутать полярность выходного разделительного электролитического конденсатора (C_{12}).

Кроме того, если подводка к громкоговорителю сделана однопроводной (второй провод — «масса»), то ее следует заменить двухпроводной, отсоединив громкоговоритель от «массы».

Сигнал на вход УНЧ с детектора приемника должен подводиться обязательно через разделительный конденсатор (лучше, бумажный тип МБМ или МБГП емкостью от 1,0 до 10,0 *мкф*) отдельным экранированным проводом, изолированная оплетка которого подключается либо к полюсу, либо к минусу усилителя в зависимости от того, какой из полюсов батареи соединен с «массой».

* *
*

В процессе создания высококачественных усилителей НЧ радиолюбителю неизбежно приходится сталкиваться с теми или иными измерениями. И хотя большинство радиолюбителей умеет грамотно пользоваться стандартными измерительными приборами, многие из них, как показывают поступающие в редакцию письма, не знакомы с отдельными «тонкостями» низкочастотных измерений, что часто не позволяет радиолюбителю получить результаты, указанные в описании.

Во избежание подобных недоразумений редакция МРБ сочла нужным привести несколько конкретных рекомендаций о том, как правильно осуществлять низкочастотные измерения при регулировке усилителей НЧ.

Звуковой генератор. Среди радиолюбителей широко распространено ошибочное мнение, что звуковой генератор должен обеспечивать лишь достаточное выходное напряжение и нужную полосу частот. На остальные параметры его сигнала, как правило, не обращают внимания. Это является наиболее частой причиной того, что радиолюбители не могут получить указанные в описании усилителя параметры.

Следует твердо запомнить, что не менее важными характеристиками выходного сигнала звукового генератора являются его коэффициент нелинейных искажений (КНИ) и уровень собственного фона. КНИ звукового генератора на любой частоте и при любом уровне должен быть на *один порядок ниже*, чем КНИ регулируемого усилителя. Это значит, что если усилитель по описанию имеет КНИ, равный 1%, то звуковой генератор должен иметь КНИ, не превышающий 0,1%. Надо заметить, что такую величину КНИ имеют далеко не все промышленные звуковые генераторы, самодельные же генераторы в редких случаях имеют КНИ ниже 1,5—3,0%. Это значит, что с такими генераторами *принципиально невозможно* добиться при регулировке усилителя нужных результатов.

Поэтому мы рекомендуем при создании высококачественных усилителей пользоваться промышленными генераторами типов ГЗ-33, ГЗ-34 или ГЗ-36. При использовании других типов генераторов необходимо предварительно *точно измерить* величину их собственного КНИ с помощью измерителя нелинейных искажений.

Уровень собственного фона генератора должен быть не хуже —60 *дб*, что проверяется по справочнику или описанию данного генератора. Практическое определение этой величины в любительских условиях затруднительно, однако для грубой проверки нужно подключить с помощью короткого экранированного шланга к выходным гнездам звукового генератора ламповый милливольтметр типа МВЛ (ЛВ-9) и при полностью выведенном регуляторе выходного напря-

жения ЗГ (ручка «уровень сигнала» до конца влево) проверить величину напряжения на его выходных зажимах.

При исправном генераторе стрелка милливольтметра не должна отклоняться даже на доли деления на самой чувствительной шкале (10 *мв*). Наличие любого по величине выходного напряжения в этом случае свидетельствует о неисправности генератора и его непригодности для измерений.

Электронный осциллограф. Для большинства практических случаев регулировки УНЧ пригодны любые промышленные осциллографы, однако наиболее удобными нужно считать приборы типов С1-19 и С6-1. Обычно осциллограф используется для визуального наблюдения за формой кривой напряжения, причем в подавляющем большинстве случаев радиолюбитель ограничивается наблюдением за синусоидальными сигналами.

Здесь основная ошибка состоит в том, что не учитываются особенности регулировки уровня входного сигнала в осциллографе. А особенности эти состоят в том, что почти все осциллографы имеют на входе два независимых регулятора уровня: плавный и ступенчатый (декадный).

Плавный регулятор независимо от ступенчатого изменяет уровень входного сигнала от нуля до максимума, а ступенчатый уменьшает чувствительность усилителя вертикального отклонения (УВО) осциллографа в кратное число раз (1 : 2, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 100 и т. д.).

Нужно твердо помнить, что ступенчатый регулятор почти всегда включен между первым и вторым каскадами УВО осциллографа, а плавный регулятор — непосредственно на его входе (перед первым усилительным каскадом). Поэтому при измерении небольших напряжений (до 1,0 *в*) осциллограф будет показывать неискаженную форму сигнала при любых взаимных положениях плавного и ступенчатого регуляторов.

Но если величина входного сигнала составляет десятки вольт (а эти случаи очень часты при измерениях оконечного каскада УНЧ), то далеко не безразлично положение указанных регуляторов осциллографа. Если, например, величина измеряемого сигнала равна 10 *в* и мы поставили плавный регулятор в положение, близкое к максимуму, а ступенчатый регулятор — в положение 1 : 100 или 1 : 20, то осциллограф покажет резко искаженную форму сигнала даже при полном отсутствии искажений в подводимом к осциллографу сигнале.

Это объясняется тем, что первый каскад УВО в осциллографе работает без искажений лишь при значениях входного сигнала, не превышающих 1,0 *в*. Если же сигнал на сетке первой лампы УВО превышает 1,0 *в*, осциллограф сам начинает искажать контролируемый сигнал.

Из сказанного выше вытекает обязательное правило: при исследовании любого напряжения на осциллографе вначале нужно установить ручку ступенчатого регулятора в положение 1 : 1 и попытаться добиться нужного размера осциллограммы по вертикали, уменьшая входной сигнал плавным регулятором осциллографа. Если нужный размер осциллограммы таким путем получить не удается или ручка плавного регулятора при этом стоит почти «на нуле», то ступенчатый регулятор переключают *на одно деление* и вновь устанавливают размер осциллограммы ручкой плавного регулятора. Такую последовательность необходимо соблюдать при всех измерениях.

Очень важно при этом обратить внимание на то, что у некоторых осциллографов ступенчатый регулятор имеет первое положение не 1 : 1, а «75 *ом*» или «калибровка». Так как в этих положениях ко входу УВО подключается активное сопротивление величиной 75 *ом* или подводится калиброванное напряжение с частотой 50 *гц*, этими положениями нельзя пользоваться для наблюдения исследуемого сигнала.

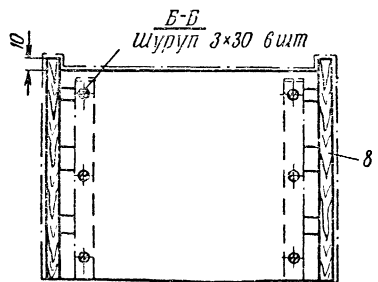
Измерители нелинейных искажений (ИНИ) всегда используются только промышленные. Из них наиболее употребительны ИНИ-11 и ИНИ-12. У этих приборов так же, как и у осциллографов, имеются плавный и декадный переключатели величины входного сигнала.

Декадный переключатель градуирован в децибелах и в вольтах для случаев, когда прибор используется как ламповый вольтметр.

При измерении КНИ нужно сначала включить прибор в режим вольтметра и выбрать такое положение декадного переключателя, при котором отсчет напряжения производится приблизительно между первой и последней третью шкалы. В этом же положении ступенчатого переключателя осуществляют и калибровку измерителя в режиме «калибровка», а отсчет искажений в режиме «искажения» производят по шкале на два порядка (в 100 раз) ниже. В этом случае прибор показывает искажения непосредственно в процентах, без всякого пересчета.

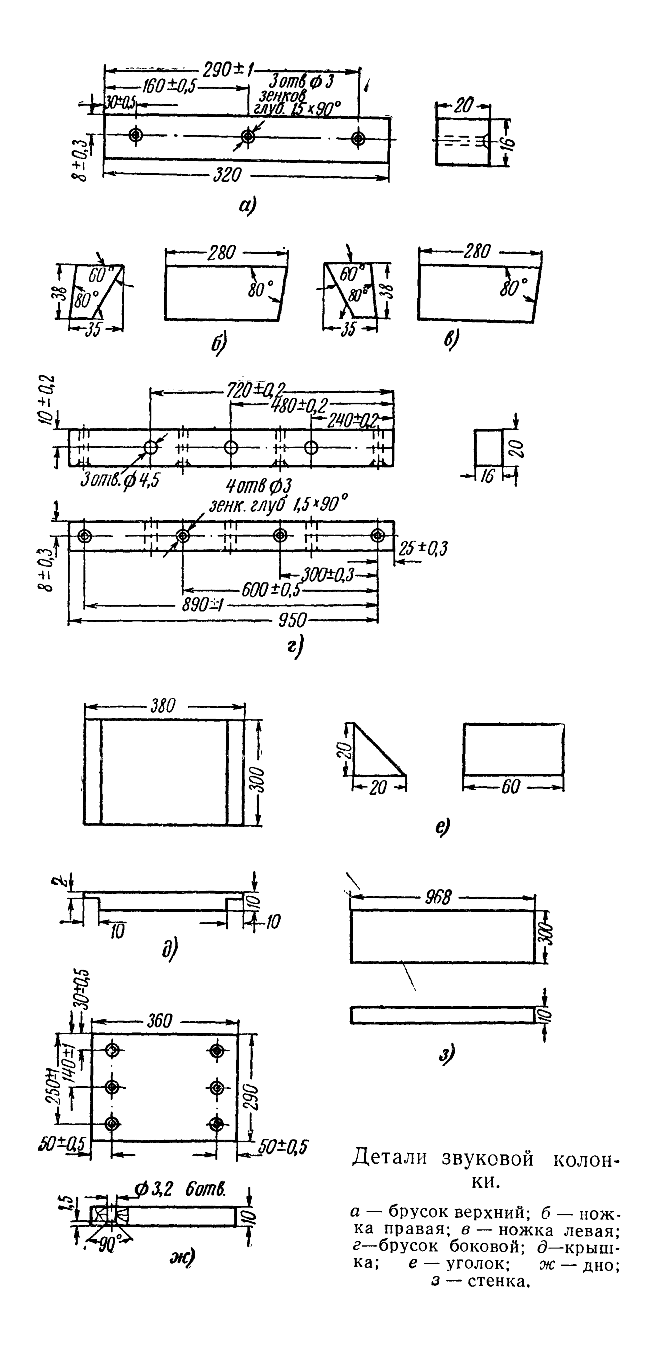
Если измеряемые искажения составляют меньше 1%, то ступенчатый регулятор переключают еще на один порядок (в 10 раз); при этом отклонение стрелки прибора на всю шкалу соответствует величине КНИ, равной 1%.

ПРИЛОЖЕНИЕ



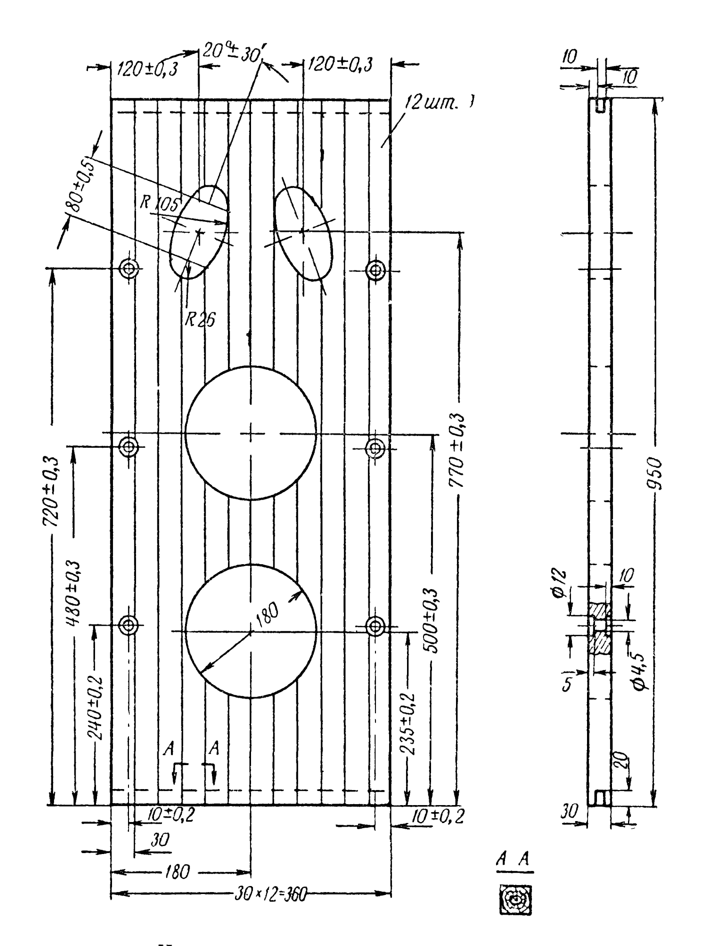
Конструкция звуковой колонки.

1 — брусок верхний; *2* — ножка правая; *3* — ножка левая; *4* — брусок боковой; *5* — крышка; *6* — уголок, *7* — дно, *8* — стенка.



Детали звуковой колонки.

а — брусок верхний; *б* — ножка правая; *в* — ножка левая; *г*—брусок боковой; *д*—крышка; *е* — уголок; *ж* — дно; *з* — стенка.



Конструкция отражательной доски.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 32 коп.